

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

**ROZBOR TECHNOLOGIE PŘIVAŘOVÁNÍ SVORNÍKŮ
S HROTOVÝM ZÁŽEHEM
(CAPACITOR DISCHARGE STUD WELDING ANALYSIS)**

Student:

Tomáš Poláček

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Vladislav Ochodek

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Poláček**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Rozbor technologie přivařování svorníků s hrotovým zážehem**
Capacitor Discharge Stud Welding Analysis

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te rozbor variantologií přivařování svorníků.
2. Podrobně popište variantu hrotového navařování svorníků.
3. Navrhněte a realizujte experimentální program ověření vybraných vlastností svarových spojů.
4. Dosažené výsledky porovnejte s literárními prameny a proved'te diskusi.

Seznam doporučené odborné literatury:

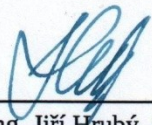
HRIVŇÁK, I. *Teoria zvaritelnosti kovov a zliatin*. Veda 1989.
ASM. Handbook vol. 6, *Welding, Brazing, Soldering*. ASM 2001.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

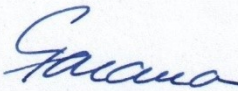
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vladislav Ochodek**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012


prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty



Místopřisežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě12.5.2012.....

.....T. Poláček.....

podpis studenta



Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 12.5.2012

T. Poláček

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Tomáš Poláček

Adresa trvalého pobytu autora práce: Supíkovice 177, 790 51



Obsah

Seznam použitého značení.....	8
1 Úvod.....	9
2 Obecná charakteristika technologie přivařování svorníků nejpoužívanějšími metodami	10
2.1 Historie.....	11
3 Varianty technologie přivařování svorníků	12
3.1 Svařování se zdvihovým zážehem (elektrickým obloukem)	13
3.1.1 Technologie zdvihového zážehu s ochranným keramickým kroužkem (783)	15
3.1.2 Technologie zdvihového zážehu s použitím ochranného plynu (783)	16
3.1.3 Technologie zdvihového zážehu s režimem krátkého času s nebo bez ochranného plynu (784)	17
3.1.4 Svařovací zařízení a příslušenství pro technologii zdvihového zážehu	18
3.1.5 Svorníky určené pro přivařování zdvihovým zážehem a využití v praxi	19
3.2 Svařování s hrotovým zážehem (kondenzátorovým výbojem - 786).....	21
3.2.1 Technologie hrotového zážehu s kontaktem	23
3.2.2 Technologie hrotového zážehu se vzduchovou mezerou	24
3.2.3 Svařovací zařízení a příslušenství pro technologii hrotového zážehu.....	24
3.2.4 Svorníky určené pro přivařování hrotovým zážehem	26
3.3 Kondenzátorové zdvihové svařování (785)	28
4 Zkoušky svarových spojů v oblasti přivařování svorníků	28
4.1 Nedestruktivní zkoušky přivařených svorníků.....	29
4.2 Destruktivní zkoušky přivařených svorníků	30
5 Praktická realizace experimentálního programu ověření vybraných vlastností svarových spojů vytvořených technologií hrotového zážehu	33
5.1 Základní materiály a svorníky použité pro experiment.....	34
5.2 Použitá zařízení a svařovací parametry	37
5.2.1 Přivařování termočlánků	38



5.2.2 Přivařování trnů	39
5.3 Zkoušky provedené na vzorcích.....	40
5.3.1 Zkoušky metalografické - makro a mikrostruktura	40
5.3.2 Zkoušky mikrotvrdosti	53
5.3.3 Diskuse a zhodnocení dosažených výsledků z hlediska kvality zhotovených spojů.....	57
6 Závěr	60
Poděkování.....	62
Seznam použitých pramenů	63

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

POLÁČEK, T. *Rozbor technologie přivařování svorníků s hrotovým zážehem: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2012, 67 s. Vedoucí práce: Ochodek, V.

Bakalářská práce je zaměřena na celkový rozbor technologie přivařování svorníků - část teoretická uvádí především nejběžněji používané varianty svorníkového přivařování, zvláště rozebrána je pak technologie hrotového zážehu a následné zkoušení svarů destruktivními i nedestruktivními metodami. V další části práce je rozebrán experiment - jsou zde konkrétní informace popisující přivařované svorníky - trny a termočlánky, základní materiály a použité zařízení včetně naměřených svařovacích parametrů. Hlavní náplní této části práce je pak návrh a praktická experimentální realizace ověření vybraných vlastností svarových spojů, a to zkouškami metalografickými a zkouškou mikrotvrdosti. V závěru jsou výsledky získané experimentem porovnány s literárními prameny.

ANOTATION OF BACHELOR THESIS

POLÁČEK, T. *Capacitor Discharge Stud Welding Analysis: Bachelor Thesis*. Ostrava: VSB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2012, 67 p. Thesis supervisor: Ochodek, V.

The bachelor thesis is focused on the general analysis of stud welding technology - theoretical part provides the most common variants which are used for welding of the studs including destructive and non-destructive tests of the welded joints. The capacitor discharge stud welding is then described especially. The specific experiment is analyzed in the next part of this thesis - it contains real information describing the studs - spikes and thermocouples, base metals and welding machines used for the experiment including the measured parameters. Main content of the practical part is to plan and realize verification of selected characteristics of the welds. It means to undergo the welds to metallographic tests and micro hardness tests. Results of the experiment will be compared with literary sources in the conclusion.

Seznam použitého značení

Značení	Význam	Jednotka
C_E	uhlíkový ekvivalent	[%]
CAD	počítačem podporovaný návrh	[-]
CAM	počítačem podporovaná výroba	[-]
CNC	počítačem číslicově řízený stroj	[-]
d, \varnothing	průměr	[mm]
HV	tvrdost dle Vickerse	[-]
HB	tvrdost dle Brinella	[-]
I_w	svařovací proud	[A]
PA	poloha svařování vodorovná shora	[-]
PC	poloha svařování vodorovná	[-]
R_e	mez kluzu materiálu	[MPa]
$R_{p0,2}$	smluvní mez kluzu materiálu	[MPa]
R_m	mez pevnosti materiálu	[MPa]
TOO	tepelně ovlivněná oblast	[-]
t_w	svařovací čas	[s]
U_p	pracovní napětí	[V]
WIG	technologie svařování wolframovou elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu	[-]

1 Úvod

Technologie přivařování svorníků je progresivní a perspektivní metoda přivařování různých tvarových kovových komponentů relativně malých rozměrů ke kovovému základnímu materiálu. Touto metodou je možné přivařovat spojovací elementy, např. šrouby, matice, kolíky, hroty, nebo elektrokontakty, termočlánky a podobné tvarové součásti. K tomuto způsobu svařování slouží svařovací zdroje různé technické specifikace dle požadavků na svarový spoj, na produktivitu a podle konkrétní varianty technologie. V praxi se v současné době používají nejčastěji dva způsoby, a to přivařování svorníků se zdvihovým, nebo hrotovým zážehem. Ke svařovacímu zdroji je pak připojena speciální svařovací pistole pro uchycení svorníku, který je vlivem přitlačné síly pistole a vlivem hoření elektrického oblouku nebo kondenzátorového výboje s následným natavením svorníku i základního materiálu přivařen na požadované místo. [1]

Tato technologie se stále více dostává do povědomí a její uplatnění získává stále více na významu v důsledku celosvětové globalizace, rostoucí konkurence a snahy společností snižovat náklady, zvyšovat efektivitu a zkracovat výrobní časy. Uplatněním této metody výrobce šetří náklady na jiné operace, které by bylo nutno provést pro uchycení svorníku, např. vrtání nebo vyvrtávání, následné závitování a montáž svorníku, případně jiných metod ručního svařování (pro svorníky dříve používanou metodu WIG). S odstraněním operací třískového obrábění souvisí také eliminace nákladů na stroje a nástroje pro tyto operace, ušetření nákladů spojených s odpadem - třískou, apod. Další nespornou výhodou je nižší pořizovací cena jednodušších svařovacích zařízení pro ruční přivařování svorníků, k dostání jsou však i programovatelné CNC svařovací automaty s vysokou produktivitou, s tou však roste i pořizovací cena zařízení. Mezi přednosti této technologie patří i minimální požadavky na kvalifikaci a zručnost obsluhy těchto zařízení, a to i za dodržení všech bezpečnostních předpisů a zachování kvality svaru. S klady technologie přivařování svorníků souvisí i použitelnost pro všechny běžné kovy, slitiny těchto kovů a také většinu jejich kombinací, což znamená, že materiál svorníku může být jiný než základní materiál. [1]

Přivařování svorníků má pro své přednosti v dnešní době rozsáhlé využití v rozmanitých oblastech průmyslu, např. v automobilovém, leteckém a lodním průmyslu, v energetice, při spojování konstrukcí a jiných prvků ve stavebnictví, dále pak v elektrotechnice při přivařování malých kontaktů, protože tepelné ovlivnění materiálu je velmi malé a nedochází tak k mechanickému poškození nebo zabarvení materiálu. [1]

Technologie přivařování svorníků byla dříve označována jako výbojové svařování, dnes je podle normy ČSN EN ISO 4063 značena č. 78. [1]

Svařovací technikou pro přivařování svorníků, jejich výrobou a prodejem se u nás v současné době zabývají zejména firmy Proweld a Heinz Soyer se sídlem v Ostravě, dále Köster CZ se sídlem v Žacléři a společnost Šimák Plzeň. Většina těchto firem jsou českým zastoupením zahraničních společností.

Cílem této bakalářské práce je všeobecné seznámení s technologií přivařování svorníků, se kterou se v praxi málokdo setkává, přestože je v různých obměnách používána již téměř 100 let. Dále si práce klade za cíl ověřit údaje dodavatelů techniky a příslušenství pro metodu hrotového zážehu, neboť ty patří pro uživatele a zákazníky mezi nejběžněji dostupné informace k této technologii. Jedná se zejména o velikost a vlastnosti tepelně ovlivněné oblasti, ověření svařitelnosti různých podkladových základních materiálů se svorníky při daných svařovacích parametrech a následné vyhodnocení kvality takto vzniklých spojů na základě destruktivních zkoušek.

2 Obecná charakteristika technologie přivařování svorníků nejpoužívanějšími metodami

Principem technologie hrotového a zdvihového zážehu je vytvoření elektrického svařovacího oblouku bezprostředně mezi svorníkem usazeným ve speciální svařovací hlavici a základním materiálem s jejich následným spojením po natavení. Jedná se tedy prakticky o svařování elektrickým obloukem bez přídavného materiálu s krátkým časem hoření oblouku, v případě svařování s hrotovým zážehem je doba hoření oblouku udávána v jednotkách milisekund.

Podmínkou pro vznik svařovacího elektrického oblouku je přiblížení svařovaných součástí (svorníku a základního materiálu) na velmi malou vzdálenost. Tyto součásti musí být současně zapojeny k zapnutému svařovacímu zdroji pomocí dvou izolovaných vodičů. Pro přivařování svorníků se zdvihovým zážehem se používá výhradně svařovacích zdrojů s usměrňovači. Svorník je v tomto případě obvykle připojen k zápornému pólu - svařovací pistoli, to platí taktéž pro přivařování svorníků technologií hrotového zážehu. Elektrický oblouk se pak vytváří tak, že elektrony jako velmi malé částičky elektriny přecházejí z rozžhaveného konce svorníku přes oblouk do základního materiálu. Pokud by byl svorník

připojen na kladný pól, elektrony by přecházely obloukem opačným směrem. „Protože na kladném pólu se vytváří více tepla než na záporném, je třeba bezpečně rozeznat, která svorka zdroje proudu je kladná a která záporná. Nejjednodušší a nejrychlejší zjištění polarit je indikačním papírem. V místě dotyku se zvlhčený indikační papír zbarví u záporného pólu červeně. Kladný pól nezpůsobí zbarvení papíru [2].“

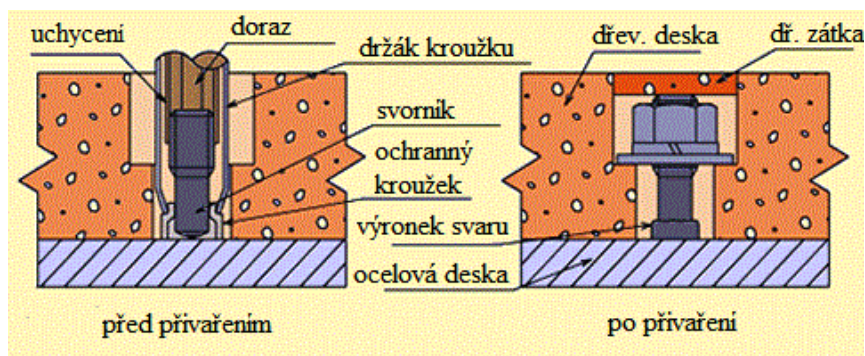
Během svařování elektrickým obloukem vznikají tři typy záření, a to ultrafialové, infračervené a viditelné. Všechny typy záření působí nepříznivě na oči, proto si bezpečnost při přivařování vyžaduje použití ochranného štítu se správným sklem. Proti ultrafialovým a infračerveným paprskům způsobujícím přehřátí organismu a popáleniny je dále nutné užít ochranné rukavice a vhodný pracovní oděv. [2]

2.1 Historie

První zmínka o svařování touto technologií pochází z roku 1918 z Anglie. V té době byl v přístavu Portsmouth v loděnici H. M. představen jednoduchý a lehký svařovací zdroj, který umožňoval vložení svorníku do svařovací hlavice. Svorník v hrotu hlavice byl potom přizvednut pomocí buzení magnetické cívky a následně po zapálení oblouku a natavení přivařen. [3]

Na tuto zkušenost navázali dále L. J. Steel a H. Martin, kteří zkonstruovali první automatizované zařízení pro přivařování svorníků na ocelovou desku. Jejich pokus byl však úspěšný jen do určité míry. [3]

Úspěšné rozsáhlejší použití technologie přivařování svorníků se zdvihovým zážehem přišlo v roce 1934 v americké námořní loděnici v New Yorku. Zde T. Nelson přivařoval šrouby k upevnění dřevěných desek na ocelovou palubu letadlové lodi (obr. 1). Od té doby začala společnost Gregory Industries Co. (dnes Nelson Stud Welding Inc.) rozvíjet tuto technologii velkou měrou. [3]



Obr. 1 Přivařování šroubů k upevnění dřevěných desek na palubu lodi [3]

Zejména během druhé světové války používali technologii přivařování bronzových svorníků japonští technici pro stavbu a elektroinstalaci válečných lodí. Po druhé světové válce nastal ještě výraznější rozvoj technologií, který přinesl další možnosti také v oblasti přivařování svorníků. [3]

3 Varianty technologie přivařování svorníků

Dnešní technologie a znalosti umožňují přivařovat svorníky několika různými variantami. Podle konkrétního způsobu přivařování norma ČSN EN ISO 4063 rozlišuje tyto varianty [5]:

- 782 – Odporové přivařování svorníků
- 783 – Zdvihové přivařování svorníků s keramickým kroužkem nebo v ochranném plynu
- 784 – Krátkodobé zdvihové přivařování svorníků
- 785 – Kondenzátorové zdvihové přivařování svorníků
- 786 – Kondenzátorové přivařování svorníků s hrotovým zapalováním
- 787 – Zdvihové přivařování svorníků s natavením nákrůžku
- 788 – Přivařování svorníků třením

Tato bakalářská práce je zaměřena na vysoce efektivní, známé a rozšířené metody, a to svařování se zdvihovým a hrotovým zážehem (783, 784, 786) s jejich dalšími možnostmi a dělením.

3.1 Svařování se zdvihovým zážehem (elektrickým obloukem)

Technologie přivařování svorníků se zdvihovým zážehem vychází z klasického svařování elektrickým obloukem (metoda 1xx dle ČSN EN ISO 4063) a má dvě základní možnosti ochrany svarové lázně. První z nich je speciální keramický kroužek, druhou je ochranný plyn nebo lze svorníky za určitých podmínek přivařovat i bez ochrany. Tato technologie je použitelná pro svorníky v rozsahu průměrů přibližně od 3 mm do 25 mm. Obvyklé kombinace základního materiálu a materiálů svorníků jsou oceli, chromniklové nerezové oceli a oceli žáruvzdorné. V mimořádných případech je možno po odzkoušení přivařovat na hliník svorníky z hliníku, totéž platí i pro měď, mosaz a titan. [7] [8]

Po přiložení svorníku (vloženého do speciálně tvarované hlavice svařovací pistole) k základnímu materiálu a stisknutí startovacího spínače, dojde k automatickému procesu svařování. Při tomto procesu je svorník nejprve oddálen na malou vzdálenost, toto oddálení způsobí vznik elektrického oblouku, který nataví obě spojované plochy. Svorník je následně po uplynutí relativně krátkého svařovacího času (max. 3 s) ponořen přitlačnou silou pistole do taveniny. Dochází k vypnutí svařovacího proudu, chladnutí a vzniku svaru. [4]

Mezi hlavní a vedlejší svařovací parametry technologie zdvihového zážehu patří [5]:

- polarita zapojení
- hodnota svařovacího proudu
- hodnota svařovacího napětí
- svařovací čas
- zdvih
- rychlost ponoru
- vysunutí
- tlumení
- počet a uzemnění zemnicích svorek

Jako zdroj energie se používá svařovací usměrňovač dodávající plynulý a regulovatelný svařovací proud, který běžně nabývá hodnot od 100 do 2600 A, ojediněle až 3000 A (proud odpovídá velikosti transformátoru a je nutné volit jej s ohledem na rozměry svorníku). Byla-li jako neoptimálnější metoda pro přivaření svorníku vybrána technologie zdvihového přivařování svorníků s režimem krátkého času, pak se ve většině případů svařuje s nejvyšším možným proudem (od 600 do 1800 A podle možností zdroje). Obvyklé hodnoty proudu

pro přivařování svorníků s keramickým kroužkem nebo v ochranném plynu se dají přibližně určit ze vztahu (1) pro svorníky do Ø 16 mm a ze vztahu (2) pro svorníky s průměrem přesahujícím 16 mm. „Pro korozivzdorné (CrNi) oceli se obvykle volí proud cca o 10% nižší [5].“

$$I_w [A] = 80 \times d [mm] \quad (1)$$

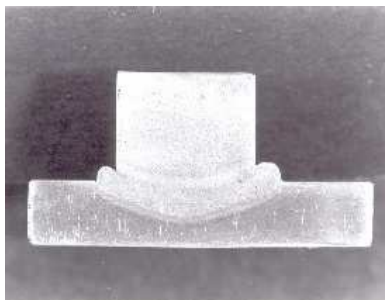
$$I_w [A] = 90 \times d [mm] \quad (2)$$

Při svařování se zdvihovým zážehem je svorník obvykle připojen k záporné svorce zdroje a základní materiál ke svorce kladné. Jedná se o tzv. přímou polaritu. Obrácená polarita nachází využití zejména u neželezných kovů, např. hliníku, mědi, mosazi apod. Svařovací čas se pohybuje v rozmezí od 0,005 s do 3 s. Přibližné vztahy pro jeho výpočet jsou (3) pro svorníky do Ø 12 mm a (4) pro svorníky nad Ø 12 mm. Oba vzorce platí pro přivařování s keramickými kroužky nebo ochrannou atmosférou v poloze PA. V poloze PC se svařovací čas volí menší. U metody zdvihového zážehu s krátkým časem je svařovací doba nastavena na méně než 100 ms. [5] [7]

$$t_w [s] = 0,02 \times d [mm] \quad (3)$$

$$t_w [s] = 0,04 \times d [mm] \quad (4)$$

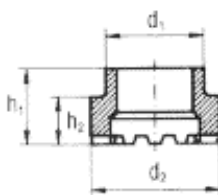
Zdvih je přiměřený průměru přivařovaného svorníku a pohybuje se mezi 1,5 až 8 mm. Pokud jsou přivařovány svorníky s galvanickou povrchovou úpravou, je nutné užít většího zdvihu. S rostoucí hodnotou zdvihu roste i délka a napětí oblouku, tím vzrůstá i magnetické vychýlení oblouku, tzv. foukání. Napětí na oblouku je dáno obzvláště výškou zdvihu a hodnotou svařovacího proudu, dalším faktorem ovlivňujícím hodnotu napětí je čistota povrchu. Přivařování k neodmaštěnému povrchu zapříčiní vzrůst napětí. V běžných případech je hodnota svařovacího napětí mezi 20 a 40 V. Vysunutí je rovněž jako zdvih úměrné průměru svorníku a je v obvyklých případech v rozmezí 1 až 8 mm. Předepsaná rychlost ponoření svorníku do svarové lázně je kolem 200 mm/s pro svorníky o průměru menším než 14 mm a 100 mm/s pro průměry od 14 do 25 mm. V případě pohybových svařovacích zařízení bez tlumení je úměrná velikosti vysunutí. [5] [7] [8]



Obr. 2 Metalografický výbrus - typický příklad svorníku přivařeného technologií zdvihového zážehu [1]

3.1.1 Technologie zdvihového zážehu s ochranným keramickým kroužkem (783)

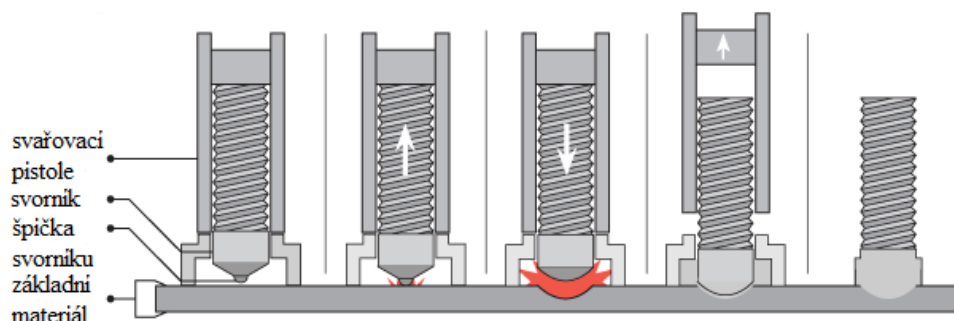
Je to způsob přivařování svorníků zdvihovým zážehem, kdy je pro požadovanou kvalitu spoje použit speciální keramický kroužek. Jeho základní funkcí je zachytit vzniklé kovové páry při hoření elektrického oblouku při nezbytné velikosti svařovacího proudu a chránit tak svarovou lázeň před nežádoucími vnějšími vlivy. Kyslík, dusík a vodík ze vzduchu totiž při svařování bez ochranných kroužků nebo plynů vstupují a rozpouštějí se v tekutém kovu a při jeho chladnutí z něj nestačí zcela uniknout. Tím je způsobena bublinatost svaru. Mimo to se dusík slučuje se železem na nitrid železa, který způsobuje křehkost a stárnutí svaru. Další podstatnou funkcí kroužku je koncentrovat a stabilizovat elektrický oblouk a zamezit tak jeho foukání. Podle kroužku je také formována svarová lázeň do výronku, zajišťuje navíc i kolmou polohu pistole při svařování. [5] [2]



Obr. 3 Příklad keramického kroužku s kótováním [9]

Princip přivařování touto metodou je patrný z obrázku 4. Prvním krokem je nasunutí svorníku a ochranného kroužku do kleštiny svařovací pistole. Dále je pistole přiložena kolmo k povrchu základního materiálu na požadované místo. Svařovací pružina v pistoli je v tuto chvíli částečně stlačená. Po stisknutí spouště dojde k aktivaci proudového impulsu, přizvednutí svorníku ve směru šipky a zapálení tzv. pomocného oblouku na hliníkové kuličce (ta je na špičce svorníku určeného pro přivařování touto technologií). Tím je zapálen hlavní elektrický oblouk, který nataví svorník v jeho plném průměru a rovněž částečně nataví také

základní materiál. Po zhasnutí oblouku zatlačí pružina v pistoli svorník do taveniny. Poté se pistole odejme a kroužek se odstraní, výsledkem je hotový svařený spoj nevyžadující další úpravu. [6]



Obr. 4 *Princip metody zdvihového zážehu s ochranným keramickým kroužkem* [6]

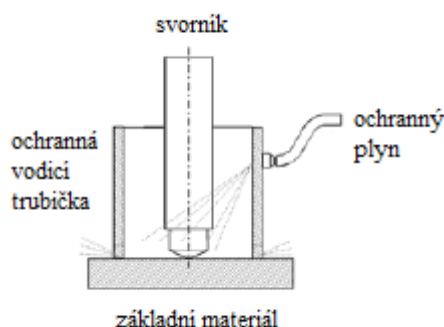
Výrobci doporučují použít pro každý spoj nový keramický kroužek, jejich skladování v suchém prostředí a v případě nutnosti i jejich přesušení. [8]

Tato technologie je určena především pro typy svorníků přesahující $\varnothing 3$ mm používaných v těžkém průmyslu a ve stavebnictví a všude tam, kde je potřebný hluboký průvar. Je možné takto přivařovat např. spřahovací trny, kotvy do betonu atd. Každý typ a rozměr svorníku si vyžaduje užití kroužku vhodných tvarů a rozměrů. Nutná je tloušťka základního materiálu o hodnotě minimálně $\frac{1}{4}$ průměru přivařovaného svorníku. Dále tato metoda vyžaduje povrch bez volných okují, bez nátěrových hmot, a není vhodná pro povrchy se silnou vrstvou koroze a povrchy upravené žárovým zinkováním. Technologii zdvihového zážehu s ochranným kroužkem je však možné užít na povrchy slabě zkorodované i na povrchy se slabou vrstvou mastnoty. [15] [16]

3.1.2 Technologie zdvihového zážehu s použitím ochranného plynu (783)

Tato technologie je principem téměř shodná s předchozí technologií s ochranným kroužkem. Místo keramického kroužku je ale použita specifická vodicí trubice a namísto zachycených kovových par je svarová lázeň chráněna vhodným ochranným plynem vytěsňujícím vzduch. Jako ochranných atmosfér se používá zejména směs oxidu uhličitého s argonem, dále jsou pak praxí otestovány i tří a čtyřkompozitní atmosféry s obsahem kyslíku a helia. Ochranný plyn významně snižuje množství pórů ve svaru a formuje svým tlakem taveninu a ovlivňuje tak její výsledný tvar. [5] [8]

Technologie zdvihového zážehu s ochranným plynem je použitelná pro průměry svorníků od $\varnothing 3$ do $\varnothing 25$ mm, obvyklý svařovací proud je asi 2500 A, lze jí přivařovat svorníky z oceli S235, chromnikové oceli a hliníkové svorníky do průměru 12 mm. Na přivařovaném konci je vytvářen kužel, který je během svařovacího procesu nataven a ponořen do základního kovu. Vyžadována je minimální tloušťka základního materiálu $1/8$ průměru přivařovaného svorníku. Zásadním omezením této technologie je poloha při svařování - svorníky s použitím metody zdvihového zážehu s ochranným plynem je možno přivařovat pouze v poloze vodorovné shora (PA). [14]



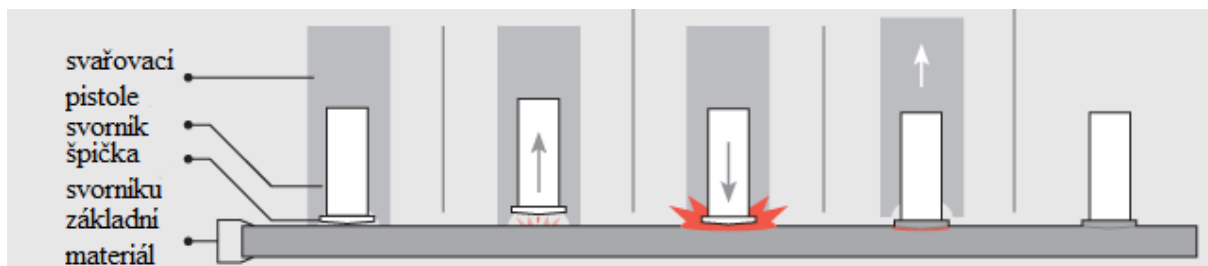
Obr. 5 Přivařování technologií zdvihového zážehu s ochrannou atmosférou [14]

3.1.3 Technologie zdvihového zážehu s režimem krátkého času s nebo bez ochranného plynu (784)

Základní princip se opět neliší od předchozích metod, hlavní rozdíl spočívá v mnohem kratším svařovacím čase a možnostech svařovat s ochranným plynem nebo úplně bez něj. Maximální průměr svorníku pro aplikaci metody zdvihového zážehu s krátkým časem hoření oblouku však nesmí být v žádném případě větší než 12 mm. Doporučuje se spíše použití svorníků do $\varnothing 8$ mm. Na čelní straně svorníku pro tuto metodu je opět vytvořen kužel jako u metody s ochranným plynem. Svařovací proud bývá nastaven na 1500 A, svařovací čas se pohybuje od 5 do 100 ms. Touto metodou se většinou svařují jen běžné konstrukční ocelové materiály, výjimečně chromnikové oceli nebo mosaz. [14]

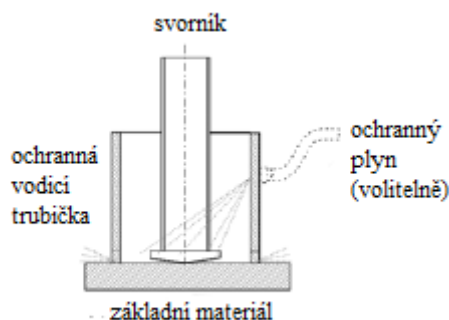
Výhodou použití varianty zcela bez ochranné atmosféry je možnost přivařovat svorníky ve všech polohách na velmi tenké plechy (cca 0,6 mm). Rizikem svařování bez ochrany je však vysoká náchylnost svarového spoje k oxidaci, zvětšená tvorba pórů a vznik nepravidelného výronku. Bez ochranné atmosféry by neměly být přivařovány svorníky

o průměru větším než 6 mm, nevhodné je také bez ochranného plynu přivařovat jiné materiály než konstrukční oceli. [1] [5]



Obr. 6 Princip metody zdvihového zážehu s režimem krátkého času bez ochranné atmosféry [6]

Je-li nutné přivařovat technologií zdvihového zážehu svorníky o \varnothing 6 mm a větším, pak je výrazně doporučeno užít ochranných atmosfér, a to i v případě že se jedná o technologii s režimem krátkého času. [8]



Obr. 7 Svařování s režimem krátkého času s použitím ochranného plynu [14]

Tuto metodu přivařování svorníků je možné s úspěchem nahradit dalšími technologiemi, a to kondenzátorovým zdvihovým přivařováním svorníků nebo rovnou svařováním s hrotovým zážehem (kondenzátorovým výbojem). [16]

3.1.4 Svařovací zařízení a příslušenství pro technologii zdvihového zážehu

Zdroje vyrobené a určené k přivařování svorníků mohou být jak stabilní větších rozměrů s vyšší produktivitou, tak menší, lehčí a přenosné určené pro menší výrobu nebo montáže. Všechny tyto zdroje - invertory s transformátorem, měničem a usměrňujícími můstky dodávají stejnosměrný svařovací proud a jsou velkou měrou závislé na příkonu z elektrické sítě. Na strojích je možno nastavit především základní hodnoty svařovacího času, moderní



zdroje s nadstandardním vybavením nabízejí však také přehledné přednastavené programy se svařovacími parametry vhodnými pro dané podmínky svařování a jejich prostřednictvím je také umožněno vyhodnotit provedený svar. Dále je takovéto zařízení často možné dovybavit např. plynovým modulem pro přívod ochranného plynu ke svarové lázni nebo automatickým modulem pro možnost automatizace procesu přivařování apod. [4] [8]

Kromě svařovacího zdroje je nezbytnou součástí svařovací soupravy také speciálně navržená pistole. „Tato slouží spolu se zemnicí kabelací k přenesení svařovacího proudu od zdroje a zpět k němu [8].“ Výrobci svařovacích pistolí uvádějí jejich přibližnou životnost pro technologii přivařování zdvihovým zážehem asi 50 000 - 100 000 svarů. [8]

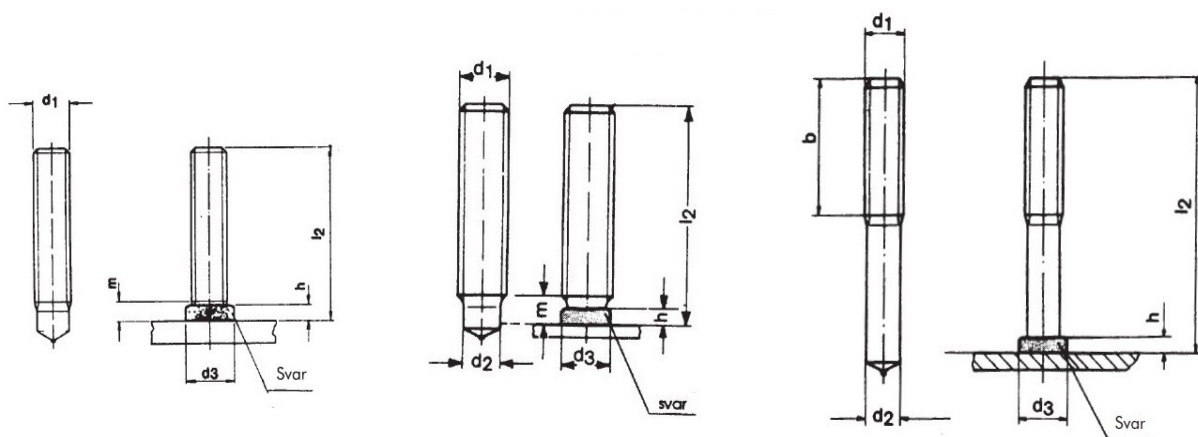
Každá svařovací pistole je vybavena kleštinou, kterou je nutné po skončení její životnosti vyměnit (udává se po 2000 - 5000 svarech v závislosti na svařovacích proudech a časech). Touto kleštinou je svařovací proud přenesen dále do uchyceného svorníku. Kleštiny mají rozdílné tvary a rozměry pro různé technologie přivařování. V případě přivařování svorníků s ochranným kroužkem je pistole vybavena držákem keramických kroužků. Jeho životnost není možné přesně určit, je totiž přímo vystaven prudkému ohřevu a také možnému rozstříku taveniny. Jsou-li naopak svorníky přivařovány metodou s ochranným plynem, pak je k pistoli připevněn místo držáku kroužků tzv. stativ pro přívod ochranné atmosféry. [8]

3.1.5 Svorníky určené pro přivařování zdvihovým zážehem a využití v praxi

V současné době existují velmi obsáhlé nabídky firem zabývajících se prodejem svorníků k přivařování. Kromě různých tvarů a rozměrů je k dispozici rovněž velký výběr různých materiálů. Svorníky jsou vyráběny s ohledem na použitou metodu přivařování - jedná-li se o svorníky určené pro zdvihový zážeh s ochranným keramickým kroužkem, pak je na jejich konci hliníková kulička sloužící jako tavidlo pro snazší zapálení a stabilizaci oblouku a odkysličení svařovací lázně. Ty je však možné do Ø 10 mm přivařovat i technologií zdvihového zážehu s ochranným plynem. Nad Ø 12 mm se jejich svařování v ochranné atmosféře nedoporučuje, protože hliník, který se při použití této metody kvůli kratšímu svařovacímu času nestačí vyplavit na povrch, způsobuje křehnutí svaru. Pro metodu přivařování v ochranné atmosféře a v režimu krátkého času jsou vhodné svorníky s kuželovitým koncem. [21]

Svorníky pro zdvihový zážeh jsou vyráběny hlavně z nelegované oceli S235J2 dle ČSN EN 10025-2 (podle ČSN 42 0002 odpovídá oceli 11 378) bez povrchové úpravy nebo s galvanickou povrchovou úpravou (pomědění, pozinkováním příp. poniklováním). Dále se svorníky pro technologii zdvihového zážehu často vyrábí z korozivzdorné oceli X5CrNi18-10 dle ČSN EN 10025-2 (dle ČSN 42 0002 odpovídá oceli 17 240). [22]

Mezi rozšířené a často užívané svorníky patří svorníky válcované za studena se závitem. Závity jsou vyráběny v toleranci 6g dle německé normy DIN 13 a rozdělují svorníky podle typu na MD (svorníky opatřené závitem v celé délce po přivaření), MR (závit je po celé délce svorníku vyjma dříku) a MP (závit je vyroben jen na části svorníku). Svorníky se závitem nacházejí využití v praxi zejména při montáži a uchytávání izolací na potrubí větších rozměrů, na konstrukcích strojů pro připevnění vík otvorů nebo jiných dílů, uchycení pražců na železničních mostech, montáž schodišť atd. [21] [22]



Obr. 8 Navařovací šrouby v pořadí MD, MR, MP [24]

Dalším velmi známým typem svorníků jsou tzv. spřahovací trny. Jedná se o svorníky s hlavou, které slouží ve stavebnictví k pevnému spojení oceli a betonu do jedné nosné konstrukce.



Obr. 9 Příklad aplikace spřahovacích trnů - tramvajové mosty v Moskvě, Rusko [23]

Svorníky mají rozsáhlé technické využití, lze najít mnoho jejich aplikací v praxi. Vyrábějí se i další speciální tvarové svorníky (navarovací kotlové trny, kolíky s vnitřním závitem, navarovací trny se zářezem, vlnité kotvy, hákové čepy atd.) a na žádost je možné dodat svorníky vyrobené z jiných typů oceli. [24]

3.2 Svařování s hrotovým zážehem (kondenzátorovým výbojem - 786)

Je to technologie taktéž založená na principu přivařování elektrickým obloukem. Zdrojem stejnosměrného proudu však není transformátor s usměrňovačem jako u zdvihového přivařování, ale jsou použity zdroje s kondenzátorovými bateriemi. Ty jsou před zahájením svařování nabity na svou plnou kapacitu a po stisknutí spouště svařovací pistole se okamžitě zase zcela vybijí. Nutné je také použití speciálně vyrobených svorníků pro tuto technologii. Jejich průměry se pohybují od 2 do 8 mm a na svém konci mají malý cylindrický výstupek o délce max. 1 mm (bývá vhodně dimenzovaný k průměru svorníku). Jedná se o tzv. startovací hrot, který umožní okamžité zapálení oblouku, který nehoří déle než 3 ms. Takovýto krátkodobý proces přivařování lze pozorovat pomocí oscilogramu, výstupy z něj je možné uložit, vytisknout a následně analyzovat. [1] [17] [18]

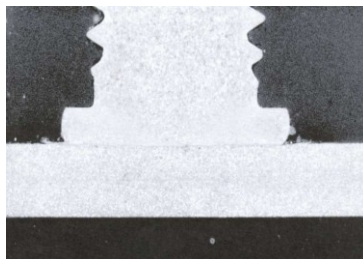
Hlavní a vedlejší svařovací parametry:

- polarita zapojení
- kapacita kondenzátorů
- svařovací proud
- svařovací čas
- nabíjecí napětí
- síla pružiny (v případě přivařování se vzduchovou mezerou velikost této mezery)
- počet a uzemnění zemnicích svorek
- uspořádání svařovacích vodičů (jsou-li použity k ovlivnění proudu) [5] [14]

Polarita zapojení je v případě technologie hrotového zapalování shodná jako u zapalování zdvihového, tedy přímá polarita má využití zejména u přivařování ocelových svorníků, obrácená pak v případě hliníku, mědi a mosazi, popřípadě kombinace materiálů. Kapacita kondenzátorových baterií ve svařovacích zdrojích je různá a standardně je to 44, 66, 90 nebo 135 mF, pracovní napětí na kondenzátoru se pak nastavuje dle možností zdroje a průměru přivařovaného svorníku, praxí je ověřená hodnota mezi 50 - 200 V. Při spojení obvodu je kondenzátor vybíjen a tímto obvodem protéká proud až 10000 A, což je o mnoho více než u svařování zdvihovým zážehem. [5] [14] [18]

Z hlediska tepelného ovlivnění materiálu je tato technologie nadmíru vhodná k přivařování svorníků na velmi tenké plechy od tloušťky 0,5 mm. Tepelně ovlivněná oblast je minimální, nedochází tedy k žádným deformacím materiálu a z druhé strany je svar prakticky neviditelný, což je jedním z hlavních důvodů velkého využití této technologie v oblasti elektrotechniky, telekomunikací a mnoha dalších odvětví průmyslu. Metodou kondenzátorového výboje s hrotovým zážehem lze také velmi dobře přivařovat velké množství materiálů rozličného složení a vlastností, např. je v praxi velmi dobře ozkoušeno přivařování hliníkových svorníků na pozinkovanou ocel. Tato metoda nevyžaduje vzhledem k extrémně krátkému hoření oblouku ani využití ochranného plynu, ani keramických kroužků apod. Hotový svar je čistý a nevyžaduje žádné následné úpravy. Tímto způsobem je také možné přivařovat svorníky ve všech polohách. Mezi další výhody patří, stejně jako v případě všech technologií přivařování svorníků, poměrně nízké pořizovací náklady na výrobní vybavení s ohledem na produktivitu těchto metod, levné svorníky a jednoduchá automatizace procesu. Často jsou pro metodu hrotového přivařování svorníků používány CNC svařovací automaty. [1] [6]

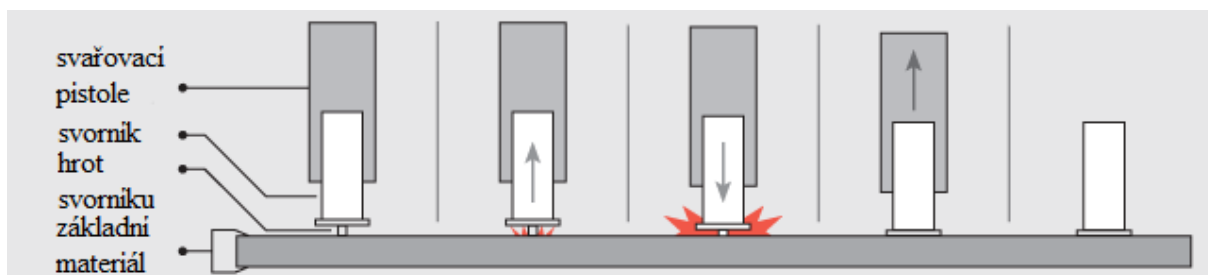
Oproti přivařování svorníků zdvihovým zážehem má tato metoda řadu výhod, ale i nevýhod, avšak každá z těchto technologií má praktické využití v trochu jiných oblastech. Základními nevýhodami použití procesu hrotového zážehu je omezená velikost svařovacích parametrů a místo na základním materiálu musí být povrchově upraveno tak, aby na něm nebyly žádné okraje, rez nebo jiné ulpělé nečistoty a mastnota. Tato technologie se také projevuje vyšší hlučností při přivařování a možným větším odstříkem materiálu. [1] [24]



Obr. 10 Metallografický výbrus - typický příklad svorníku přivařeného technologií hrotového zážehu [1]

3.2.1 Technologie hrotového zážehu s kontaktem

Jedná se o jednu z variant přivařování svorníků kondenzátorovým výbojem, kdy proces přivařování začíná kontaktem hrotu svorníku se základním materiálem. Nejprve je svorník vložen do kleštiny svařovací pistole, poté jsou kondenzátorové baterie zdroje nabitý na přednastavenou hodnotu napětí podle průměru přivařovaného svorníku. Následně je pistole se svorníkem umístěna na předem upravené čisté místo na základní materiál tak, aby se hrot přímo dotýkal základní desky. Pružina v pistoli tlačí svorník směrem k jejímu povrchu. Po stisknutí spínače na pistoli je okamžitě uvolněna veškerá energie z nabitých kondenzátorů. Tím se prudce zvýší svařovací proud, startovací hrot se ihned roztaví, zapálí se na okamžik elektrický oblouk a ten lehce nataví celý průměr svorníku a nejbližší přilehlé oblasti základního materiálu. Mechanismus uvnitř pistole svorník v tuto chvíli přitlačí k základnímu materiálu silou o velikosti přibližně 60 - 100 N a následně zhasne oblouk. Celý proces od zážehu oblouku až po přitlačení netrvá déle než 0,006 s. Tavné zóny jsou spojeny, rychle ztuhnou a tím je svar hotov a je možno odejmout svařovací pistoli. Zbytková energie v kondenzátorech byla vybita zkratem. [1] [6]

Obr. 11 *Princip metody hrotového zážehu s kontaktem* [6]

3.2.2 Technologie hrotového zážehu se vzduchovou mezerou

Tato technologie je primárně určena k přivařování hliníkových a mosazných svorníků o průměru 0,8 - 8 mm. Jejím předpokladem je, že svorník není přímo přiložen k základnímu materiálu jako u předchozí metody, ale je držen nad základním materiálem ve vzdálenosti definované pro daný průměr a materiál svorníku. Po stisknutí tlačítka na svařovací pistoli je svorník zrychlen pružinou ve směru proti základnímu materiálu. Při dotyku startovacího hrotu s povrchem materiálu dojde opět k jeho prudkému roztavení a následnému okamžitému zapálení oblouku, který působí stejně jako v předchozím případě. Vlivem jeho hoření je svorník částečně zpomalen, má však ještě dostatek energie, aby dosedl k povrchu nataveného základního materiálu a byl tak spolu s působením přitlačné síly pružiny (40 - 60 N) ve svařovací pistoli bezpečně a spolehlivě přivařen. V případě této metody je svařovací čas ještě zkrácen tím, že oblouk neakceleruje z klidového stavu jako u technologie s přímým kontaktem. Oblouk pak hoří po dobu 0,0005 - 0,002 s. Jistým nebezpečím u této metody může být předčasné zapálení oblouku, to se však stává velmi zřídka. [17] [5]

3.2.3 Svařovací zařízení a příslušenství pro technologii hrotového zážehu

Moderní svařovací zdroje s kondenzátorovými bateriemi se vyrábí přednostně jako přenosné stroje o nízké hmotnosti pro malosériovou výrobu nebo pro montáže. Takovéto zdroje se vyznačují nízkou hmotností (obvykle mezi 10 - 20 kg) a malými rozměry. Jejich kondenzátorové baterie se nabíjejí při nízkém napětí už od 20 V na požadovanou kapacitu nabývající hodnot od 44 do 135 mF (dle výrobce a určení). Podpětí v síti tedy tyto stroje nijak neomezuje, jsou však naopak velmi citlivé na přepětí, kdy může dojít k poškození dobíjecího dílu nebo řídicí desky. Všechny moderní stroje jsou řízeny mikroprocesorem. Pracovní napětí na kondenzátorech se nastavuje podle průměru svorníku, a je to hodnota mezi 50 - 200 V. Produktivita těchto zdrojů činí přibližně 20 přivařených svorníků za minutu. [18] [19]

K výše popsaným ručním zdrojům je vždy připojena speciální svařovací pistole a pro zaručení dobrého přenosu proudu také zemnicí kabelace dimenzovaná pro 10 000 A nebo více. Základní funkce pistole je spolu se zemnicí kabelací naprosto stejná jako u svařování zdvihovým zážehem - musí vytvořit uzavřený elektrický obvod, kterým bude protékat svařovací proud. Svorník se potom uchycuje do kleštiny, která je vodivou součástí pistole a je vždy navržena pro dané průměry svorníků. Je důležité kleštinu udržovat v dobrém stavu a včas ji vyměnit, protože má zásadní vliv na přenos svařovacího proudu a tudíž i na kvalitu výsledného svaru. Její minimální životnost výrobce udává na 2000 ks svarů. Kleštiny s delší životností jsou vyrobeny ze slitiny mědi, bronzu a zirkonu, méně kvalitní levnější kleštiny neobsahují zirkon. Odborná manipulace s pistolí rovněž výrazně ovlivňuje životnost kleštiny, hlavní zásadou je vytahovat pistoli po přivaření svorníku vždy kolmo k povrchu základního materiálu. [18]

Pro sériovou výrobu je však použití ručních strojů nedostatečné. Zejména firmy zabývající se produkcí elektrotechniky zavádějí do výroby nové vysoce výkonné CNC automaty. Ty dokážou pracovat až ve třech osách. Jejich hlavní výhodou je kromě značné produktivity také vysoká přesnost přivařování. Jsou určeny přednostně k přivařování svorníků hrotovým zážehem s kontaktem nebo mezerou, ale po připojení vhodné automatické svařovací hlavy a přeprogramování je s nimi možno přivařovat svorníky také metodou zdvihového zážehu. Tyto stroje jsou vybaveny plně automatickým podavačem svorníků. Moderní stroje umožňují sledovat proces na LCD displeji, programovat postupy a parametry svařování v zabudovaném CAD/CAM softwaru nebo jej upravovat na počítači. [20]



Obr. 12 Příklad CNC svařovacího automatu [20]

3.2.4 Svorníky určené pro přivařování hrotovým zážehem

Svorníky vyrobené speciálně pro technologii hrotového zážehu jsou rozeznatelné podle malého válcovitého výstupku na konci určeném k přivaření, jak bylo popsáno výše. Tento hrot je součástí příruby, která je také významnou součástí těchto svorníků. Jejím úkolem je koncentrovat elektrický oblouk a zároveň zvětšit přivařenou plochu. [25]

Svorníky jsou vyráběny z oceli S235J2 s galvanickým povlakem a z oceli X5CrNi18-10 stejně jako svorníky pro technologii zdvihového zážehu, navíc však je možné aplikovat i jiné materiály, a to slitiny mědi a zinku - mosazi CuZn37, slitiny hliníku a hořčíku AlMg3, slitiny hliníku a křemíku AlSi12 a téměř čistý hliník Al99,5. [25]

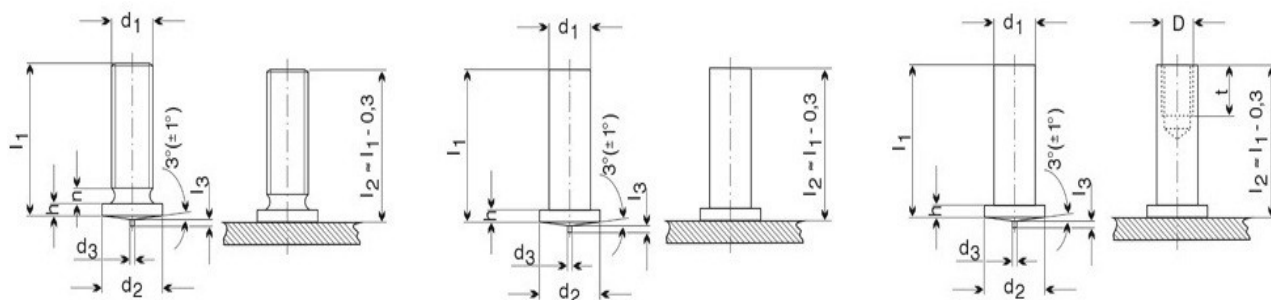
Přestože technologie hrotového zážehu dovoluje svařovat různé druhy materiálů navzájem, existují kombinace svorníku a základního materiálu, které jsou ke svařování nevhodné. Vhodnost jednotlivých kombinací materiálů podle směrnice DVS 0905, část 2. je uvedena na obrázku 13.

Základní materiál	Materiál svorníku				
	St 37 - 3k	1.4301	CuZn37	Al99,5	AlMg3
Ocel do C35	1	1	1	0	0
Ocel do C60	0	2	0	0	0
Ocel. plech pozinkovaný	2	2	1	0	0
Ocel Cr-Ni	2	1	2	0	0
CuZn37 - 30	2	2	1	0	0
Měď	2	2	1	0	0
Al99,5	0	0	0	1	2
AlMg1-5	0	0	0	2	1
AlMgSi0,5	0	0	0	1	2

Obr. 13 Svařitelnost dle DVS 0905, část 2.: 1 = dobrá, 2 = uspokojivá, 0 = vzájemně nesvařitelné [25]

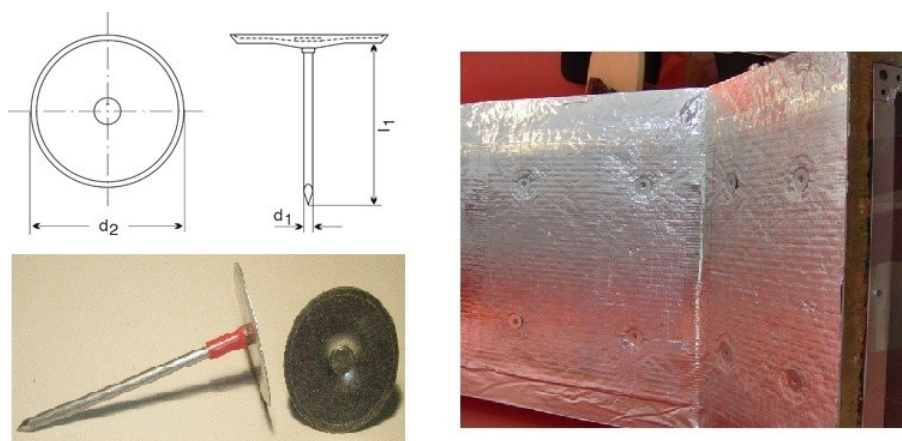
Nejčastěji se svorníky pro hrotový zážeh vyrábějí buď se závitem v toleranci 6g dle normy DIN 13, dále jako hladké čepy, čepy s vnitřním závitem, navařovací čepy s pilovým závitem, trny o průměru 3 - 5 mm a speciální tvarové elektrokontakty. [24]

Závitové svorníky nebo čepy mají praktické využití např. při montáži různých rozvodů na kovové povrchy, technologie hrotového zážehu s využitím svařovací pistole se speciální kleštinou umožňuje přivařovat také svorníky s plastovým krytem. Ty plní úlohu zemnicích prvků zejména v automobilovém průmyslu. [27]



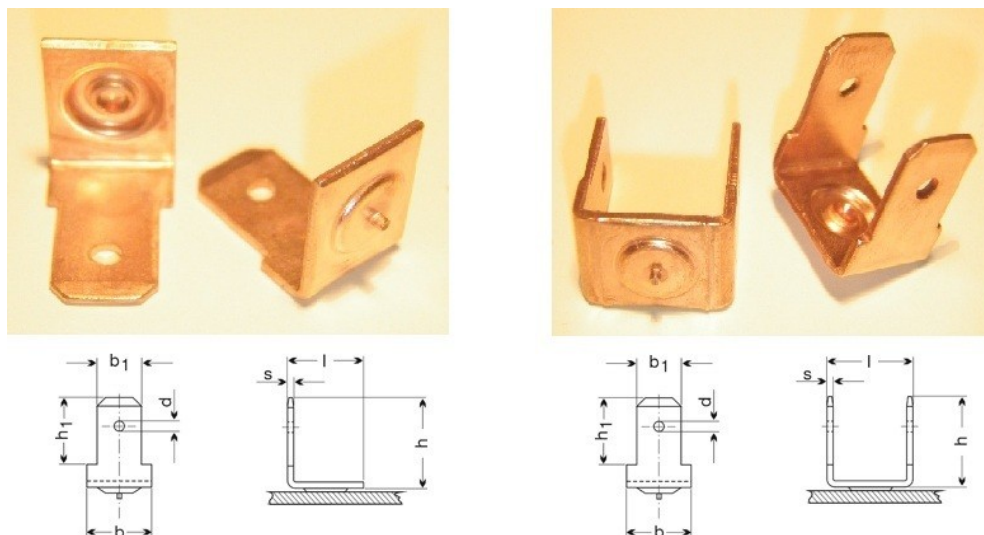
Obr. 14 Svorníky pro hrotový zážeh se závitem, bez závitu a s vnitřním závitem [26]

Trny nacházejí využití především v oblasti energetiky, kde slouží k uchytávání izolací na kotle. Izolační trny jsou dodávány s krytkou nebo se samosvornou úchytkou. Jedním ze speciálních využití trnů (jehly Ø 2,5 mm, délky 30 mm) je jejich navařování na plechy tloušťky 0,8 mm, šířky 50 mm a délky 4000 - 6000 mm. Tyto plechy jsou ohnuty napůl a jehly jsou na ně přivařovány na ohyb do řad po 50 - 100 kusech. Takový výrobek je potom využit v energetickém průmyslu při odsiřování exhalací působením elektrostatických výbojů mezi anodou a katodou. [27]



Obr. 15 Trn s krytkou a jeho aplikace (čedič na potrubí) [26]

Elektrokontakty tvoří další významnou skupinu mezi svorníky přivařovanými technologií hrotového zážehu. Jsou přivařovány CNC svařovacími automaty.

Obr. 16 *Elektrokonektory - jednoduchý a dvojité* [26]

3.3 Kondenzátorové zdvihové svařování (785)

Tato technologie je v principu podobná technologii zdvihového zážehu s režimem krátkého času bez ochranné atmosféry. Zdroj pro svařování touto metodou však obsahuje kondenzátorové baterie, a tím je možno dosáhnout špičky svařovacího proudu až 4000 A. Svařovací čas pak nepřesahuje 10 ms, polarita ovlivňuje možnosti přivařování stejně jako u předchozích metod. [5]

Svorníky, které lze touto metodou přivařovat nesmějí mít průměr větší než 10 mm. Jsou obvykle vyrobeny z běžných ocelí, chromniklových ocelí, případně mosazi, mědi a hliníku. Přivařovat je lze na plechy od minimální tloušťky 0,5 mm, a to ve všech svařovacích pozicích. [5] [14]

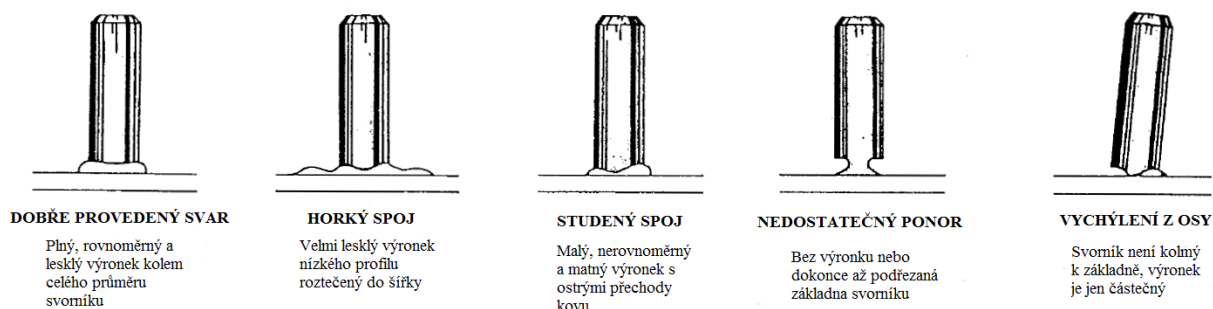
4 Zkoušky svarových spojů v oblasti přivařování svorníků

Zkoušky svarových spojů slouží ke zjištění mechanických vlastností těchto spojů a k odhalení případných vad ve spoji. Mechanické vlastnosti je možné určit pouze na základě tzv. destruktivních zkoušek svarových spojů. Během těchto zkoušek je však hodnocený vzorek porušen, proto se provádí výhradně na zkušebních vzorcích podle platných technických norem. K odhalení vad ve spoji slouží nejen metody destruktivní, ale také častěji využívané metody nedestruktivní. Ty mají tu výhodu, že zkoumaný svarový spoj jimi není

nijak ovlivněn. Na jejich základě lze určovat jak vady vnější povrchové, tak i nebezpečné skryté vady vnitřní. [10]

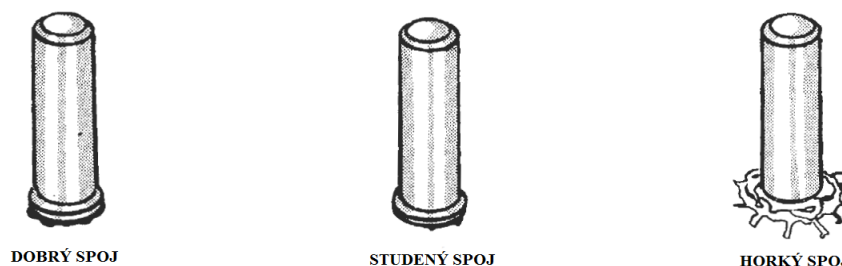
4.1 Nedestruktivní zkoušky přivařených svorníků

Existuje velké množství nedestruktivních zkoušek, kterými lze ověřovat kvalitu vybraného svarového spoje. V oboru přivařování svorníků se však jedná zejména o nejjednodušší přímou metodu zkoušky vizuální, kterou lze v mnoha případech na první pohled pouhým okem určit, není-li svar proveden kvalitně a eventuálně podle výronku a polohy svorníku také stanovit, o jaký typ vady se jedná. Nákresy nejčastějších defektů spoje vytvořeného technologií zdvihového zážehu jsou znázorněny na obrázku níže spolu s příkladem dobře provedeného svaru.



Obr. 17 Vizuální kontrola svorníků přivařených zdvihovým zážehem - defekty [11]

Na obrázku 18 jsou náčrty svorníků přivařených metodou hrotového zážehu. Hlavní odlišností od technologie zdvihového zážehu je velikost výronku. Základní defekty a aplikace vizuální kontroly u technologie hrotového zážehu jsou však stejné jako u předešlé metody. Jedná se především o tzv. horké a studené svary. Charakteristika dobře provedeného spoje je v případě této technologie stejná jako u metody zdvihového zážehu. Stejně tak je takový spoj vytvořen díky volbě a nastavení správných svařovacích parametrů. Studený spoj v případě technologie hrotového zapalování vzniká hlavně kvůli nedostatečné kapacitě kondenzátorů a nadměrnému tlaku pružiny svařovací pistole, u horkého spoje je tomu právě naopak. [12]



Obr. 18 Vizuální kontrola svorníků přivařených hrotovým zážehem - defekty [12]

Jinou mnohdy používanou metodou je zkouška prozařovací (radiologická). Tyto zkoušky se dále dělí na radioskopické, radiografické a radiometrické. Nejčastěji používanou metodou je právě zkouška radiografická. Jejím cílem je zjistit, zda svarový spoj obsahuje skryté vnitřní vady. „Je založena na principu zachycení účinku prošlého záření kontrolovaným předmětem na speciální fotografický film, čímž se získá trvalý záznam obrazu vnitřních nehomogenit (vad) výrobku tzv. radiogram [10].“

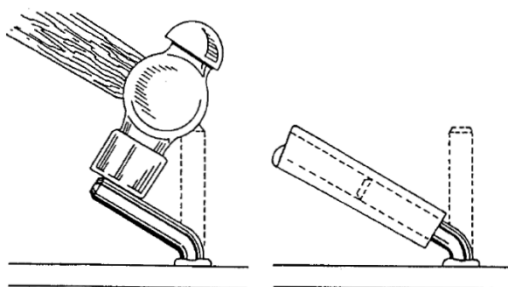
V případě technologie přivařování svorníků se však nejedná o metodu zcela nedestruktivní. Sice při jejím použití nedojde ke zničení přímo svařeného spoje, ale k její aplikaci je nutné svorníky uřezat těsně nad výronky. Z toho důvodu je nutné provádět tuto metodu jen na zkušebních vzorcích. Dále se uvedená technika zkoušení obvykle vyžaduje pouze u technologie zdvihového přivařování svorníků s ochranným keramickým kroužkem nebo v ochranném plynu, a to pro svorníky o průměru větším než 12 mm při použití těchto svorníků za teplot vyšších než 100 °C. Tuto metodu zkoušení lze nahradit jednodušší zkouškou tahem, která na rozdíl od zkoušky radiografické nevyžaduje použití speciální radiografické techniky třídy B. [5]

4.2 Destruktivní zkoušky přivařených svorníků

Destruktivních zkoušek, kterými jsou ověřovány mechanické vlastnosti zkoumaného spoje a zvolené svařovací parametry, bylo navrženo mnoho. V technické praxi přivařování svorníků však patří mezi nejpoužívanější zkouška tahem, ohybem, krutem, zkouška makrostruktury a tvrdosti.

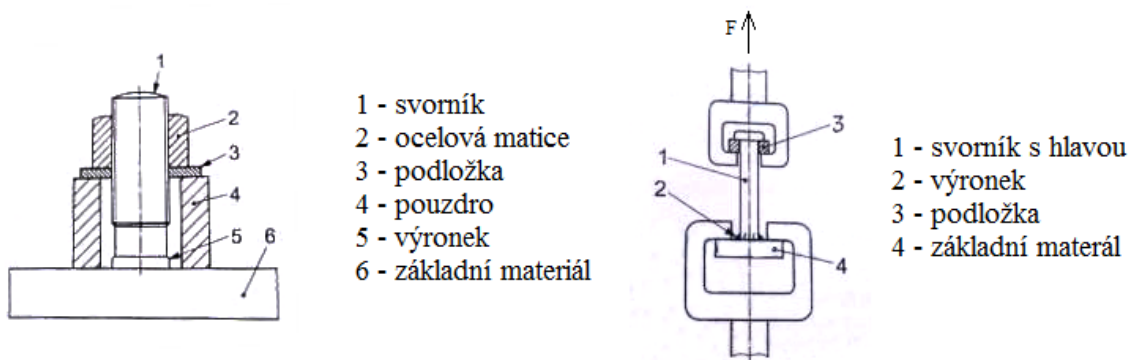
Zkouška ohybem patří mezi jednoduché dílenské zkoušky svarových spojů. Způsob, kterým je ohnutí svorníku provedeno, není přesně specifikován. Mnohdy používanou technikou je prostý úder kladivem, eventuálně je na svorník nasazena trubka sloužící

jako páka (obr. 19). Velikost úhlu vychýlení svorníku od osy kolmé na rovinu základního materiálu je dán použitou technologií přivařování a rovněž požadavkem na pevnost spoje. V případě aplikace metody zdvihového zážehu jsou svorníky ohýbány minimálně o 60° . Byla-li k přivaření svorníku použita technologie hrotového zážehu, pak svorník úspěšně projde zkouškou, jestliže vydrží vychýlení minimálně o 30° . [5] [11]



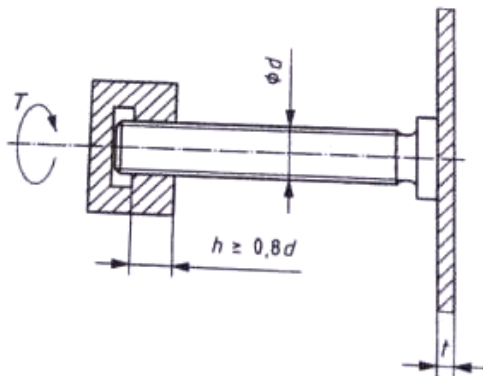
Obr. 19 Zkouška ohybem pomocí kladiva a trubky [11]

Zkouška tahem je stejně jako zkouška ohybem prováděna v případě, budou-li svorníky vystaveny pracovní teplotě vyšší než 100°C , nebo jedná-li se o jiné speciální konstrukce, kde si to bezpečnost vyžaduje. Při této zkoušce jsou svorníky taženy pomocí speciálního nástroje ve směru jejich osy až do utržení. [5]



Obr. 20 Zkouška tahem na různých svornících [5]

Zkouška krutem se provádí buď do předem určeného testovacího krouticího momentu, nebo do prasknutí. [11]



Obr. 21 „Odpor svaru se ověřuje použitím krouticího momentu T na dutou matici plně dotaženou na svorník" [5]

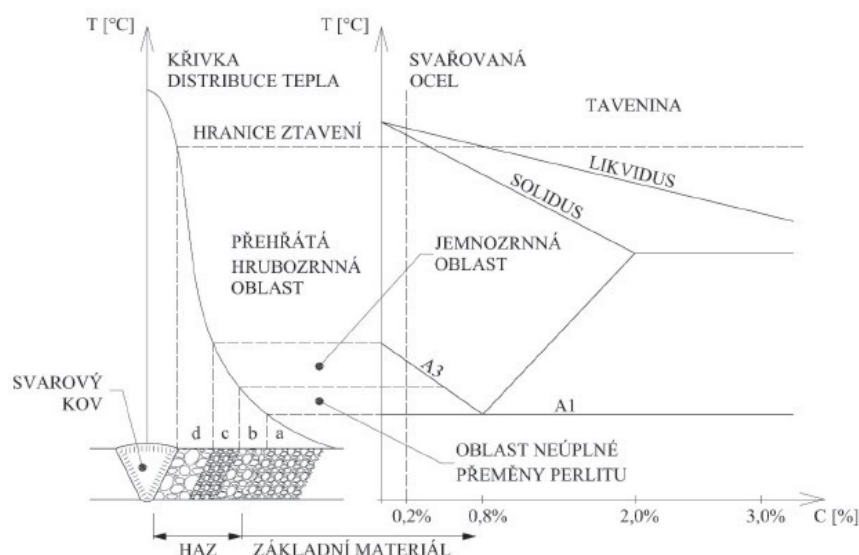
Zkouška makrostruktury patří mezi zkoušky metalografické. Je to další hojně využívaná zkouška svarových spojů v oblasti přivařování svorníků, protože je jejím prostřednictvím možné určit tvar a hloubku průvaru. Spočívá ve vhodném rozříznutí spoje tak, aby výsledný vzorek obsahoval základní materiál neovlivněný svařováním a tepelně ovlivněnou oblast svorníku i základního materiálu. Po rozřezání následuje broušení na brusných papírech s odstupňovanou zrnitostí, vyleštění a leptání vzorku vhodným činidlem. Pro posouzení výsledků této zkoušky stačí pozorovat vzorek pouhým okem, lupou, nebo optickým mikroskopem při malém zvětšení. [10] [5]

Vzorky připravené pro zkoušku makrostruktury jsou často dále využívány pro zkoušku tvrdosti. Provádí se na tzv. mikrotvrdoměru a podle jeho typu je do přichystaného vzorku zatlačován určitou silou buď jehlan (zkouška dle Vickerse), kužel (dle Rockwella), nebo kulička (dle Brinella). Z rozměrů takto vytvořeného vrypu je následně určena tvrdost. [13]

5 Praktická realizace experimentálního programu ověření vybraných vlastností svarových spojů vytvořených technologií hrotového zážehu

V rámci zadání této bakalářské práce bylo také navrhnout a realizovat experimentální program ověření vybraných vlastností svarových spojů. Zkoumána byla především tepelně ovlivněná oblast (TOO) v základním materiálu a následně mikrotvrdosti v TOO a přilehlých oblastech ve svorníku i základním materiálu. Pro snadnou dokumentaci a názornost byly zvoleny destruktivní zkoušky - zkoušky metalografické a zkouška mikrotvrdosti. Celkem bylo vyrobeno 9 různých vzorků, na kterých byly provedeny zmíněné zkoušky. Svorníky přivařované k základnímu materiálu byly trojího druhu - dva typy trnů a termočlásky.

Tepelně ovlivněná oblast je charakteristickým znakem svarových spojů provedených na oceli. Je to část svařovaného materiálu, která nebyla přímo roztavená, ale došlo zde ke změnám mikrostruktury a změnám vlastností oproti materiálu tepelně neovlivněnému. TOO, ve které v důsledku svařování došlo ke zhrubnutí zrna, způsobuje především zhoršení plasticity, může docházet ke vzniku trhlin nebo ke snížení korozivzdorných vlastností. Je-li TOO na metalografickém výbruse jasně zřetelná, pak je možno rozdělit ji do následujících pásem: [28]



Obr. 22 Názorná ukázka TOO základního materiálu tupého V-svaru v konfrontaci s rovnovážným diagramem Fe-C [28]

Popis jednotlivých struktur, které vznikly v použitých materiálech při konkrétním experimentu, je uveden v rozboru metalografické zkoušky mikrostruktury.

5.1 Základní materiály a svorníky použité pro experiment

Základní materiály využité k experimentu jsou 3 a jsou podle ČSN EN 10025-2 značeny 45CrMoV7, 7CrMoVTiB10-10 (ekvivalent oceli 19 429, známá je tato ocel také pod označením T/P24) a GX4CrNi13-4. Základním rozdílem mezi těmito ocelmi byl především rozdílný obsah chromu. Jejich charakteristika, chemické a mechanické vlastnosti jsou uvedeny níže.

Ocel GX4CrNi13-4 byla podkladovým materiálem pro přivaření svorníku s nejvyšším obsahem chromu a zároveň nejnižším obsahem uhlíku. Jedná se o martenzitickou korozivzdornou ocel s dobrými pevnostními vlastnostmi vhodnou pro kalení na vzduchu. Významná je především pro energetiku.

Tab. 1 *Obsah prvků v oceli GX4CrNi13-4 v % hmot. podle EN 10088 [29]*

Tavba	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu
min.						12,00	3,50			
max.	0,06	1,00	1,00	0,035	0,025	13,50	5,00	0,70	0,08	0,3

Základní mechanické vlastnosti

$R_e = 550 \text{ MPa}$

$R_m = 755 \text{ MPa}$

Tvrdost 250 HB

Ocel 45CrMoV7 se naopak vyznačovala nejmenším podílem chromu a nejvyšším obsahem uhlíku. Tato nástrojová legovaná ocel vyznačující se vysokou tvrdostí a pevností je určena pro práci za studena a speciální použití. Výrobky z tohoto materiálu jsou obvykle kaleny na vzduchu bez následného popouštění.

Tab. 2 *Obsah prvků v oceli 45CrMoV7 v % hmot. podle EN 10088 [30]*

Tavba	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	P	S
min.	0,42	0,85	0,20	1,7	0,25			
max.	0,47	1,00	0,30	1,9	0,30	0,05	0,030	0,030

Základní mechanické vlastnosti

$R_e = 1034 \text{ MPa}$

$R_m = 1158 \text{ MPa}$

Tvrdość 335 HB

Materiál 7CrMoVTiB10-10 (T/P24) je feriticko - bainitickou žárovečnou nízkolegovanou ocelí určenou pro práci za vyšších teplot, je vhodná na tlakové součásti energetických a chemických zařízení. Je moderní alternativou za dříve používané martenzitické ocele s 9 % chromu a vznikla jako reakce na ocele T22 a T23.

Tab. 3 *Obsah prvků v oceli 7CrMoVTiB10-10 v % hmot. podle EN 10088 [31]*

Tavba	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Ti	B
min.	0,05	0,30	0,15	2,20	0,90	0,20	0,06	0,0015
max.	0,10	0,70	0,45	2,60	1,10	0,30	0,10	0,0070

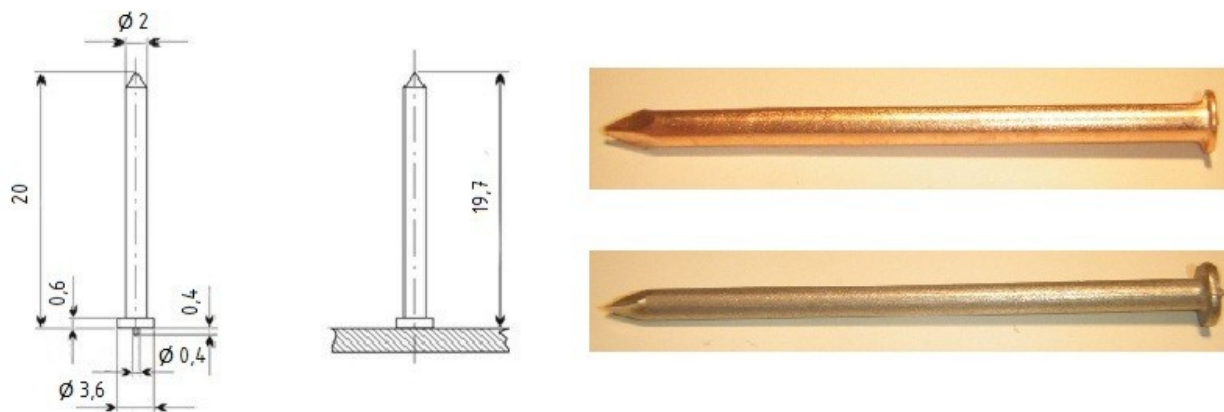
Základní mechanické vlastnosti

$R_{p0,2} = 523 \text{ MPa}$

$R_m = 617 \text{ MPa}$

Tvrdość 220 HV10

Trny dodané k experimentu měly průměr 2 mm, přičemž 3 z přivařovaných trnů byly vyrobeny z poměděné oceli St37-3k dle DIN 17 100 (ekvivalent oceli S235J2 podle ČSN EN 10025-2). Jedná se tedy o běžnou konstrukční nelegovanou jemnozrnnou ocel obvyklých jakostí vhodnou ke svařování. Zbývající 3 přivařované trny byly zhotoveny z materiálu X5CrNi18-10 podle ČSN EN 10025-2. Tento materiál je austenitickou korozivzdornou ocelí s vysokým obsahem chromu, v oblasti normálních teplot velmi dobře odolávající atmosférické korozi, pitné vodě, zředěné kyselině dusičné a dalším korozním činitelům.



Obr. 23 Přivařované trny - materiál S235J2 a X5CrNi18-10 [26]

Tab. 4 Obsah prvků v oceli S235J2 (St37-3k) v % hmot. podle EN 10088 [32]

Tavba	C	Mn	P	S	Cu
max.	0,17	1,40	0,03	0,03	0,55

Základní mechanické vlastnosti

$R_e = 235 \text{ MPa}$

$R_m = 360 - 510 \text{ MPa}$

Tvrдост 104 - 154 HB

Tab. 5 Obsah prvků v oceli X5CrNi18-10 v % hmot. podle EN 10088 [33]

Tavba	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	N
min.				17,00	8,00			
max.	0,07	2,00	1,00	19,50	10,50	0,045	0,030	0,11

Základní mechanické vlastnosti:

$R_{p0,2} = 195 \text{ MPa}$

$R_m = 500 - 700 \text{ MPa}$

Tvrдост 215 HB

Termočlávkové dráty typu K určené k přivařování hrotovým zážehem, které byly použity pro tento experiment, se vyrábí ze slitiny NiCr-Ni a jejich průměr byl 0,5 mm. Termočlávky jsou snímači, které slouží k měření povrchové teploty, v kalibraci K mohou měřit v rozsahu teplot od $-200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ až do $+1250 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Kontaktní měření teploty pomocí těchto drátů spočívá

v jejich přibodování k měřenému povrchu a následném připojení měřicího přístroje. Není zde proto nutná vysoká pevnost spoje, potřebný je jen dostatečně vodivý kontakt s měřeným povrchem, zajištění termočlánku proti pohybu v průběhu měření a co nejmenší tepelné ovlivnění základního materiálu. Po naměření hodnot se pak dráty z měřené součásti obvykle ulamují. [34]

Z kombinací výše uvedených základních materiálů a svorníků tak byly svařeny vzorky s následujícím označením:

Tab. 6 *Přehled vyrobených a zkoušených vzorků*

Označení vzorku	Základní materiál	Typ a materiál svorníku
1A	45CrMoV7	Trn Ø 2 mm S235J2
1B	45CrMoV7	Trn Ø 2 mm X5CrNi18-10
1C	45CrMoV7	Termočlánek Ø 0,5 mm NiCr-Ni
2A	7CrMoVTiB10-10	Trn Ø 2 mm S235J2
2B	7CrMoVTiB10-10	Trn Ø 2 mm X5CrNi18-10
2C	7CrMoVTiB10-10	Termočlánek Ø 0,5 mm NiCr-Ni
3A	GX4CrNi13-4	Trn Ø 2 mm S235J2
3B	GX4CrNi13-4	Trn Ø 2 mm X5CrNi18-10
3C	GX4CrNi13-4	Termočlánek Ø 0,5 mm NiCr-Ni

5.2 Použitá zařízení a svařovací parametry

K výrobě vzorků na svařovně byly užity dva různé svařovací zdroje s kondenzátorovými bateriemi pro technologii hrotového zážehu s kontaktem z důvodu aplikace dvou rozdílných typů svorníků (termočlánků a trnů). Při výrobě žádného ze vzorků nebylo užito žádného teplotního režimu svařování k optimalizaci rychlosti ochlazování svarových spojů (předehřev, dohřev).

5.2.1 Přivařování termočlánků

Přivařování výše popsaných termočlánků proběhlo s využitím zařízení BT - 2 od společnosti Svarservis Group. Je to mobilní lehká akumulátorová svářečka s kondenzátorovými bateriemi určená speciálně pro přivařování termočlánků a drátů do Ø 1,4 mm hrotovým zážehem. Optimální parametry pro svařování termočlánků různých průměrů se nastavují otočným regulátorem na čelní straně přístroje (řízení intenzity vybíjení). [35]

Technická data: [35]

Maximální průměr drátu: 1,4 mm

Přibližný počet výbojů při plném nabití akumulátoru: 800

Nabíjecí proud: 150 mA

Nabíjecí napětí: 230 V (AC)

Nabíjecí doba akumulátoru: cca 5 hodin

Rozměry: 130 x 140 x 75 mm

Hmotnost: 2,5 kg

Krytí: IP 23

Pracovní poloha: libovolná



Obr. 24 Svářečka BT - 2 pro navařování termočlánků [35]

Svařovací parametry naměřené při experimentu:

Pracovní napětí $U_p = 60 \text{ V}$

Pracovní čas $t_p = 1 \text{ ms}$

5.2.2 Přivařování trnů

Trny byly přivařeny pomocí zdroje LBS 75 se speciální ruční svařovací pistolí PKM - 101/PKM - 1B od společnosti BTH - Tech GmbH určených pro přivařování trnů hrotovým zážehem. Tento svařovací stroj s kondenzátorovými bateriemi je navržen pro použití na montážích a v jednodušších výrobních provozech. Jeho funkce jsou signalizovány pomocí LED diod a aktuální napětí na kondenzátorech na displeji, řízení intenzity vybíjení se provádí otočným potenciometrem. Pistole byla osazena kleštinou pro přivařování svorníků Ø 2 mm. [36]

Technické parametry zdroje: [36]

Svařovací způsob: kondenzátorový výboj

Svařovací zdroj: kondenzátor 66 mF

Svařovací čas: 1 - 3 ms

Svařovací rozsah: Ø 2 - Ø 8 mm

Kadence: dle nasazení až 50 ks/min

Materiál: ocel, nerez, mosaz, hliník

Rozměry: 195 x 265 x 410 mm

Připojení: 230 V, 50 Hz, 10 A

Krytí: IP 23

Hmotnost: 11 kg

Technické parametry pistole: [36]

Svařovací způsob: kontaktní

Svařovací rozsah: Ø 2 - Ø 8 mm

Délka trnů: 6 - 50 mm

Délka kabelace: 6,5 m

Průměr: 40 mm

Materiál: ocel, nerez, mosaz,
hliník, žáruvzdorná ocel,
pozinkovaný plech

Hmotnost: 0,6 kg



Obr. 25 Svářečka LBS 75 a pistole PKM-101 [37] [38]

Svařovací parametry naměřené při experimentu:

Pracovní napětí $U_p = 90 \text{ V}$

Pracovní čas $t_p = 2 \text{ ms}$

Svařovací proud $I_w = 16\,000 \text{ A}$

5.3 Zkoušky provedené na vzorcích

Po přivaření svorníků na podkladový materiál byly rozměry takto vyrobených vzorků upraveny, aby mohly být zality do bakelitu z důvodu usnadnění dalších operací. Poté byly mechanicky děleny v ose svorníků tak, aby byl po rozřezání patrný jak svorník, tak i základní materiál s tepelně ovlivněnou oblastí. Takto byly vzorky připraveny pro další práci při zkouškách metalografických a zkoušce mikrotvrdosti.

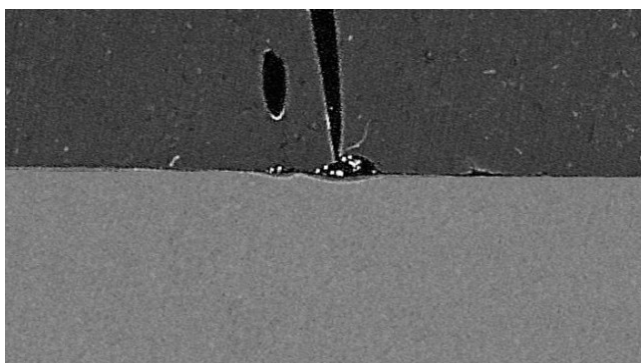
5.3.1 Zkoušky metalografické - makro a mikrostruktura

Plochy vzorků předpřipravených třískovým obráběním byly pro metalografické zkoušky broušeny za mokra brusnými papíry s odstupňovanou zrnitostí od 80 až po 2500 (dle normy FEPA) s následným leštěním povrchu tkaninou s hlinitanovou emulzí. Po oplachu a odmaštění proběhlo leptání vhodnými činidly podle druhu základního materiálu. Vzorky s nižším obsahem chromu (1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 2C) byly naleptány 4% nitalem, což je roztok etylalkoholu a kyseliny dusičné. Zbývající tři vzorky (3A, 3B, 3C) byly leptány pomocí vilelly, což je roztok kyseliny fluorovodíkové, dusičné a glycerinu. Po vysušení byly takto upravené vzorky nafoceny nejprve při 5násobném zvětšení pro získání snímků makrostruktur. Ty jsou přiloženy na obrázcích dále.

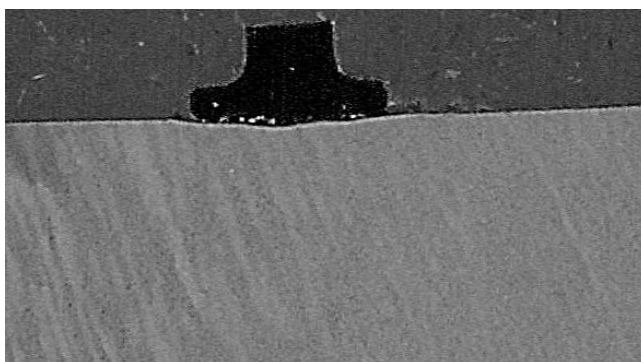
Ze snímků metalografických výbrusů makrostruktury je patrné, že vzhledem k použití různých kombinací materiálů nebylo možné dosáhnout úspěšného naleptání také u svorníků z oceli X5CrNi18-10 a NiCr-Ni. Pro zkoumání TOO však plně postačuje vhodně naleptaný základní materiál. Již ze snímků makrostruktur lze však vyzorovat zanedbatelné ovlivnění základního materiálu vneseným teplem, což je pro metodu hrotového zážehu typické. V porovnání s běžnými metodami tavného svařování působí spoje ze snímků makrostruktur dokonce jako studené. V případě některých vzorků nedošlo ani k dokonalému přivaření svorníku k základnímu materiálu. V místě spoje vznikly zvláště vnitřní prostorové vady - plynové dutiny (podle normy ISO 6520 ozn. 201). Zvláště patrné jsou tyto dutiny

na obrázcích 19, 22, 24 (vzorky 1A, 2A, 3B). Ze zmíněných fotografií makrostruktur je možné vypožorovat i jednu z příčin vzniku těchto defektů - zejména u vzorku 2A a 3B nedošlo k úplnému roztavení startovacího hrotu. V případě zbývajících vzorků byl však hrot odtaven dokonale. K dalším příčinám vzniku dutin se řadí zejména nadměrné přehřátí svařovaných ploch nebo naopak nízká tekutost tavné lázně, případně také její nedostatečná ochrana, což může být v případě této technologie způsobeno delším svařovacím časem. Metoda hrotového zážehu je také velmi citlivá na nečistoty ulpělé na povrchu materiálu - mastnotu nebo vlhkost na svarových plochách.

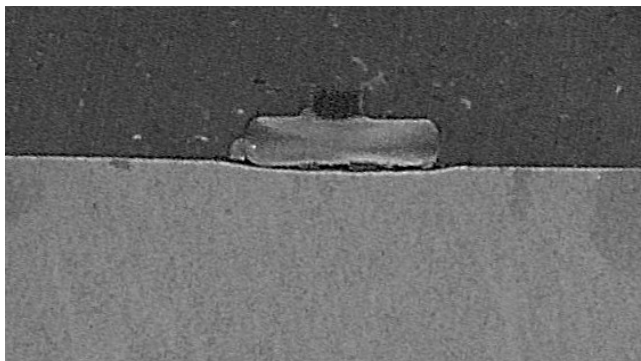
Snímky makrostruktur také vypovídají i o složení základního materiálu. Na první pohled je zřejmý vyšší podíl legur (především chromu) v materiálu GX4CrNi13-4 (vzorky 3A, 3B, 3C), což dokazují i výše prezentované tabulky s chemickým složením použitých základních materiálů.



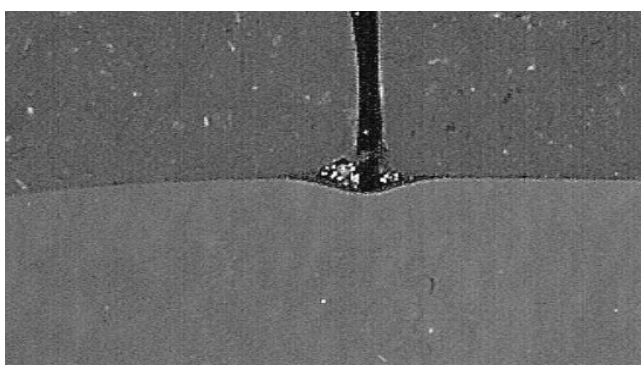
Obr. 26 Makrostruktura vzorku 1C (zvětšeno 5x)



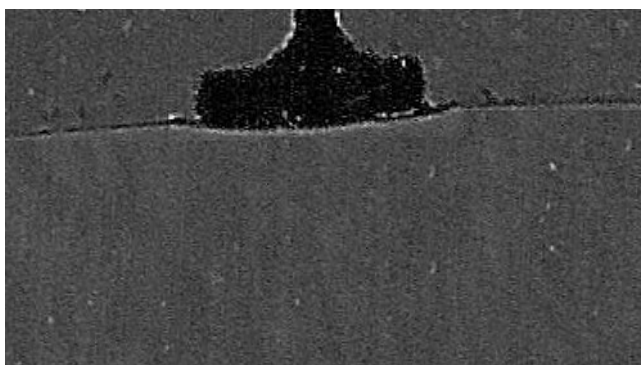
Obr. 27 Makrostruktura vzorku 1B (zvětšeno 5x)



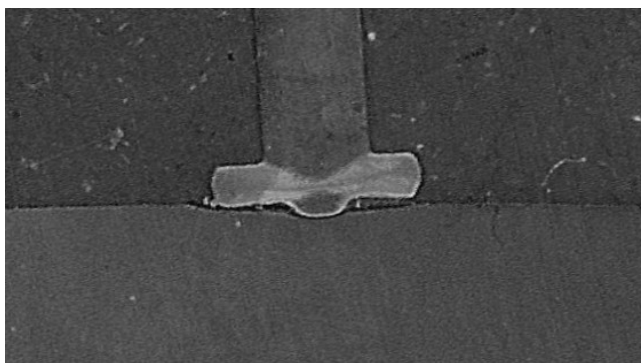
Obr. 28 *Makrostruktura vzorku 1A (zvětšeno 5x)*



Obr. 29 *Makrostruktura vzorku 2C (zvětšeno 5x)*



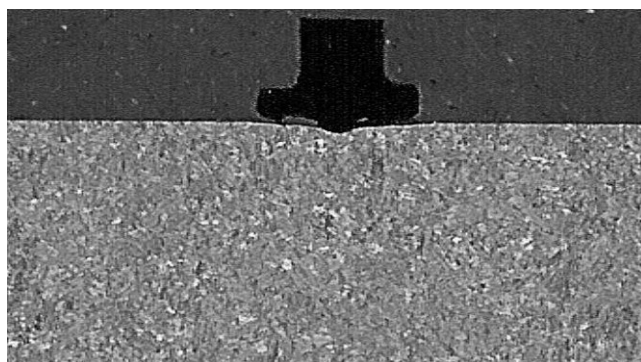
Obr. 30 *Makrostruktura vzorku 2B (zvětšeno 5x)*



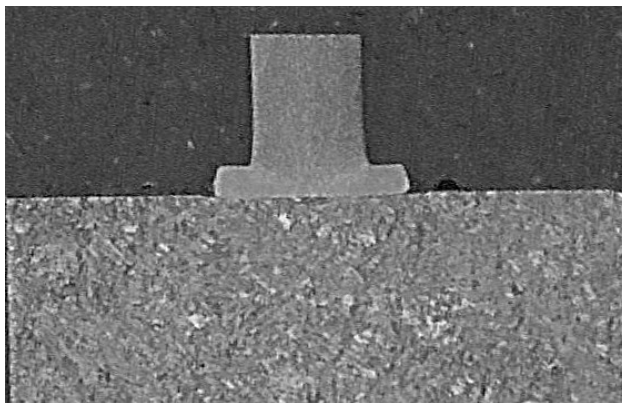
Obr. 31 *Makrostruktura vzorku 2A (zvětšeno 5x)*



Obr. 32 *Makrostruktura vzorku 3C (zvětšeno 5x)*

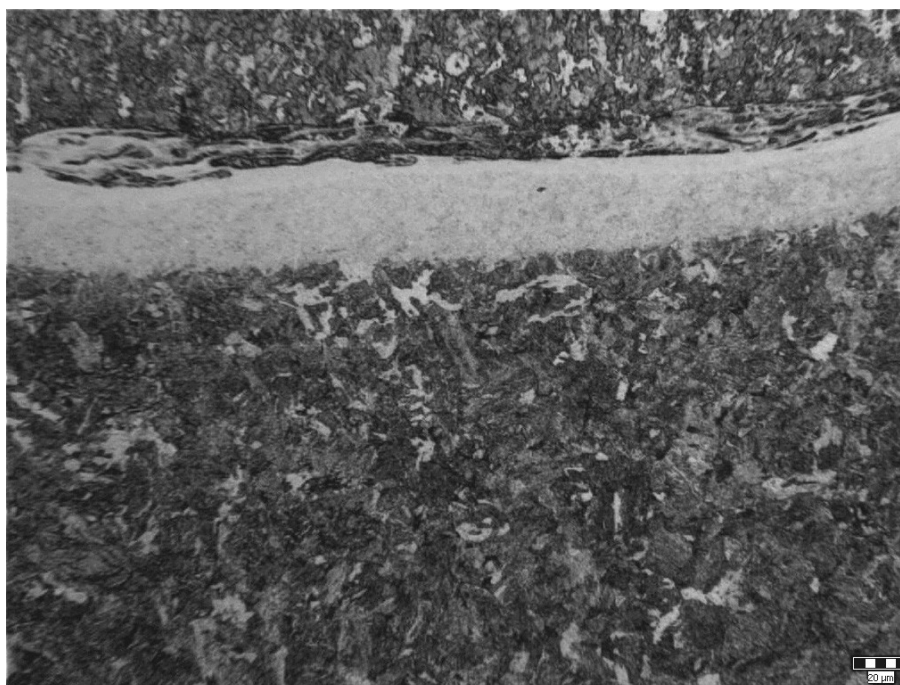


Obr. 33 *Makrostruktura vzorku 3B (zvětšeno 5x)*

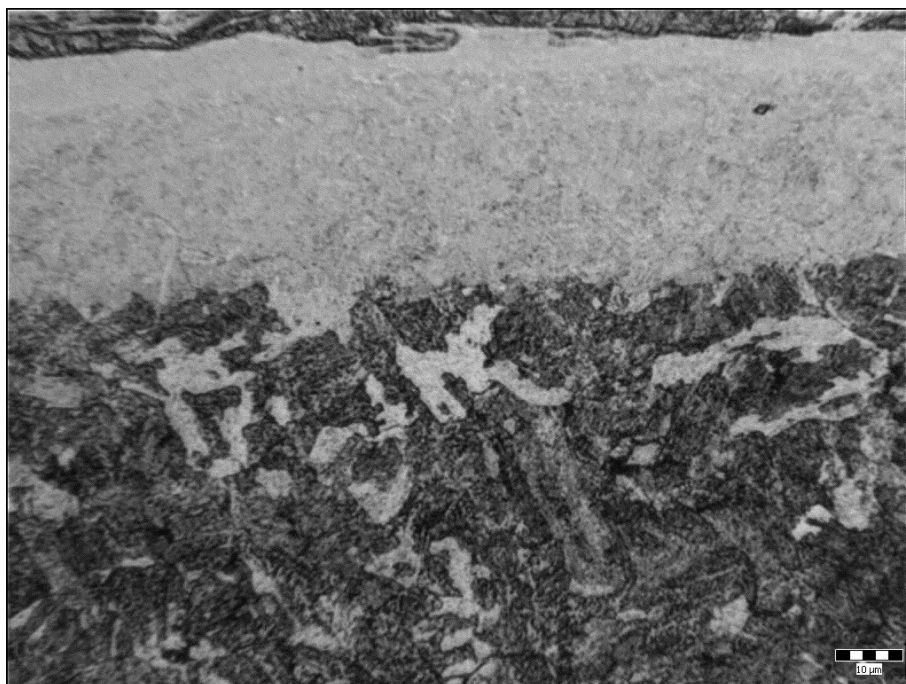


Obr. 34 Makrostruktura vzorku 3A (zvětšeno 5x)

Vzorky byly dále nafoceny ve zvětšení 200x a 500x se zvláštním zaměřením na TOO. Ze snímků lze usoudit, že v případě přivařování svorníků na materiál 45CrMoV7, došlo k největšímu tepelnému ovlivnění. Dokonce zde proběhlo tak výrazné natavení svorníku a hlavně podkladového materiálu, že došlo ke slití obou kovů, což se na snímcích mikrostruktury projevuje světlým pruhem v horní oblasti základního materiálu. Větší ovlivnění základního materiálu vneseným teplem je patrné také na materiálu 7CrMoV10-10, zde už je však výraznější hranice mezi svorníkem a podkladovým materiálem. Naopak téměř teplem neovlivněný zůstal materiál s největším obsahem chromu, a to GX4CrNi13-4.



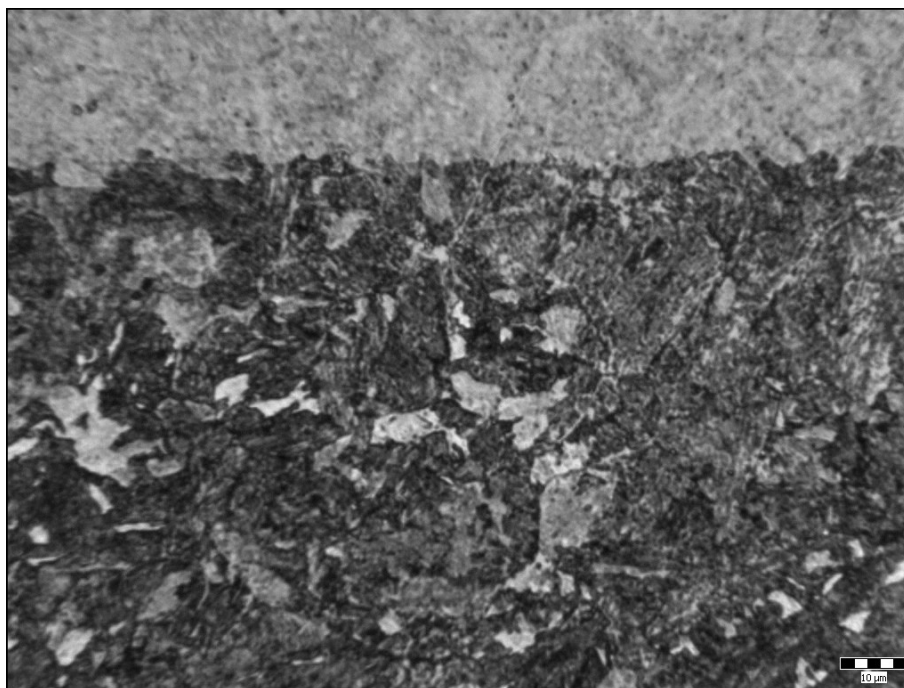
Obr. 35 Mikrostruktura vzorku 1A tvořená převážně martenzitem, velikost TOO základního materiálu je cca 50 μm (zv. 200x).



Obr. 36 Mikrostruktura vzorku 1A, pod pásmem natavení došlo k výraznějšímu vyloučení světlých feritických desek (zv. 500x).



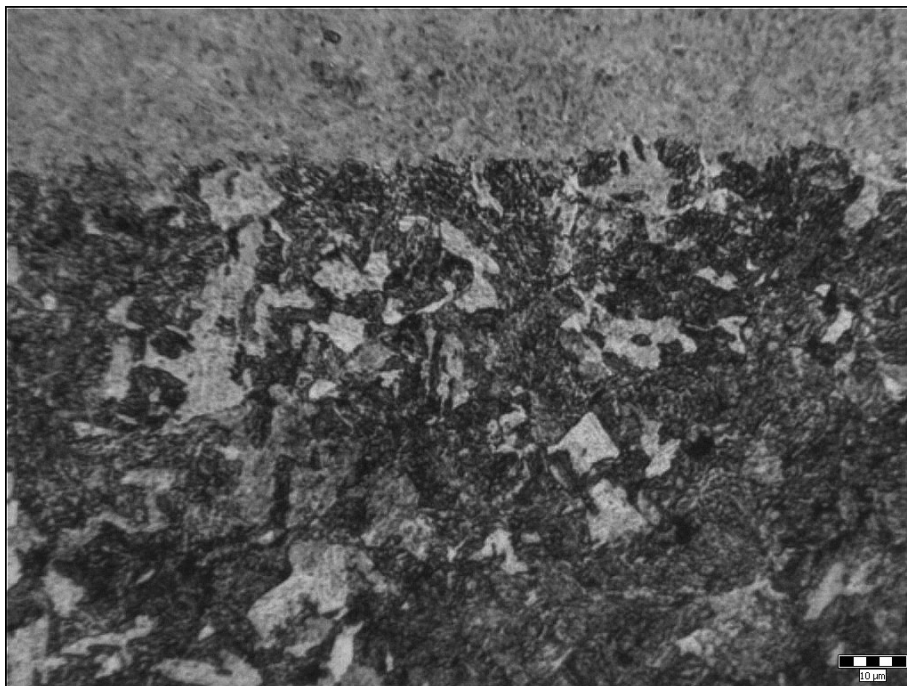
Obr. 37 Mikrostruktura vzorku 1B tvořená martenzitem, výrazné je natavené pásmo, celkově je TOO hluboká přibližně 60 μm (zv. 200x).



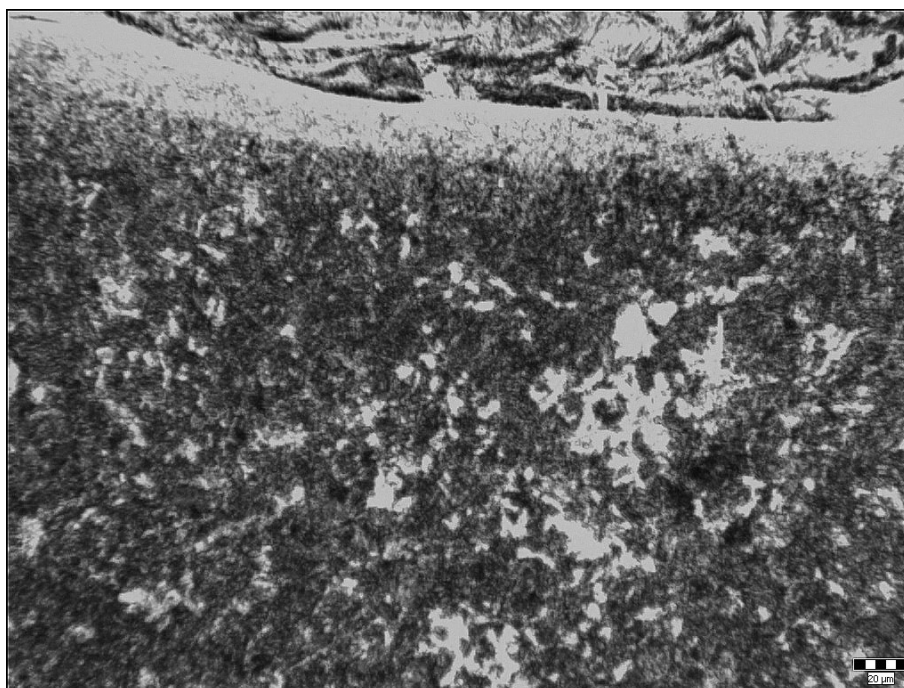
Obr. 38 Mikrostruktura vzorku 1B, patrná je menší míra tepelného ovlivnění i pod pásmem natavení (zv. 500x).



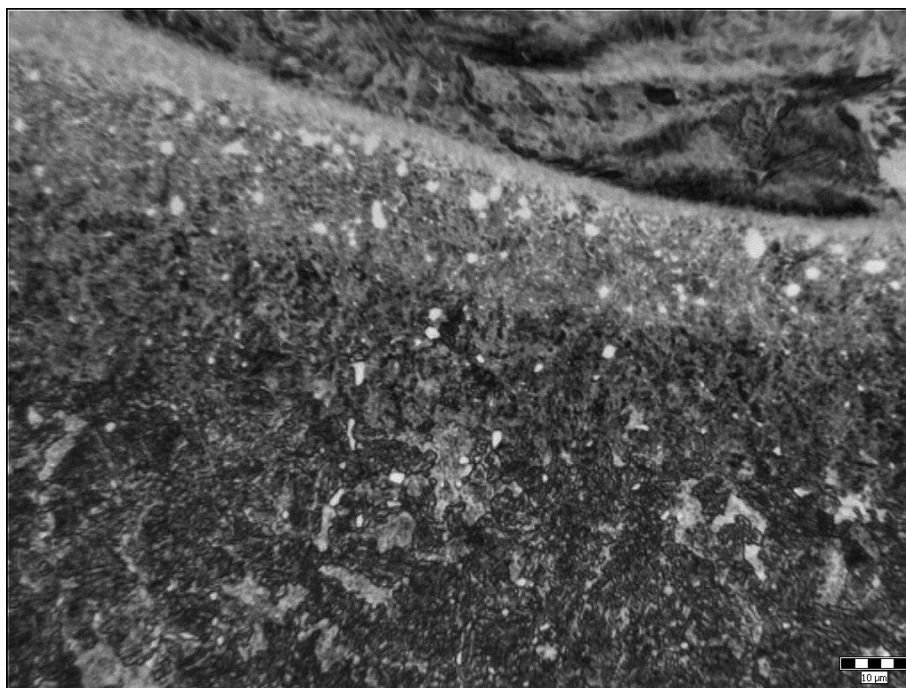
Obr. 39 Mikrostruktura vzorku 1C tvořená převážně martenzitem, opět výrazné pásmo natavení a TOO hluboká 60 - 70 μm (zv. 200x).



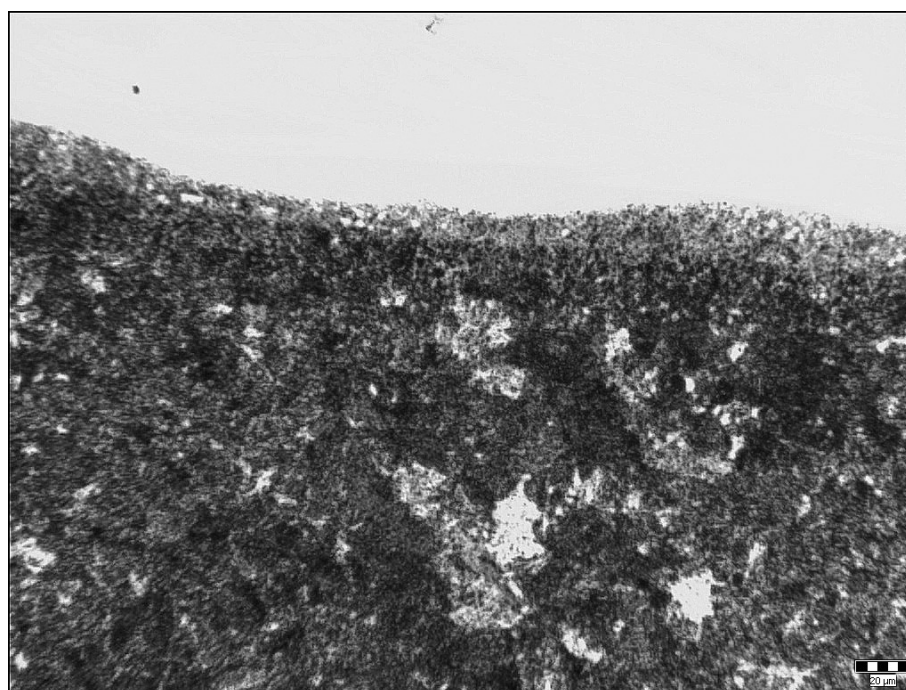
Obr. 40 Mikrostruktura vzorku 1C, feritické desky opět navazují přímo na natavené pásmo (zv. 500x).



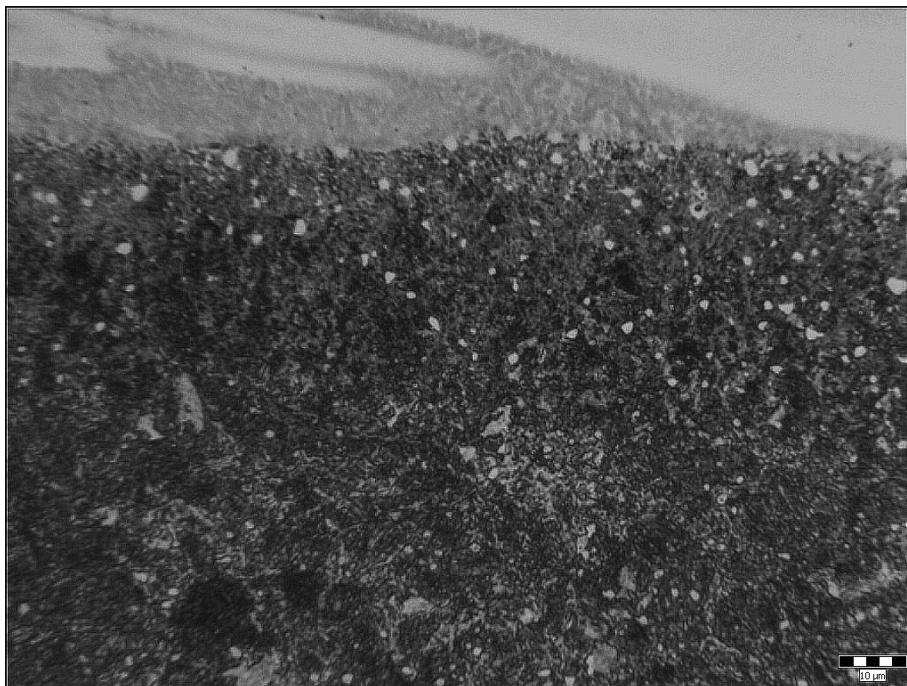
Obr. 41 Mikrostruktura vzorku 2A je feriticko-bainitická, hloubka TOO je zde cca 30 μm (zv. 200x).



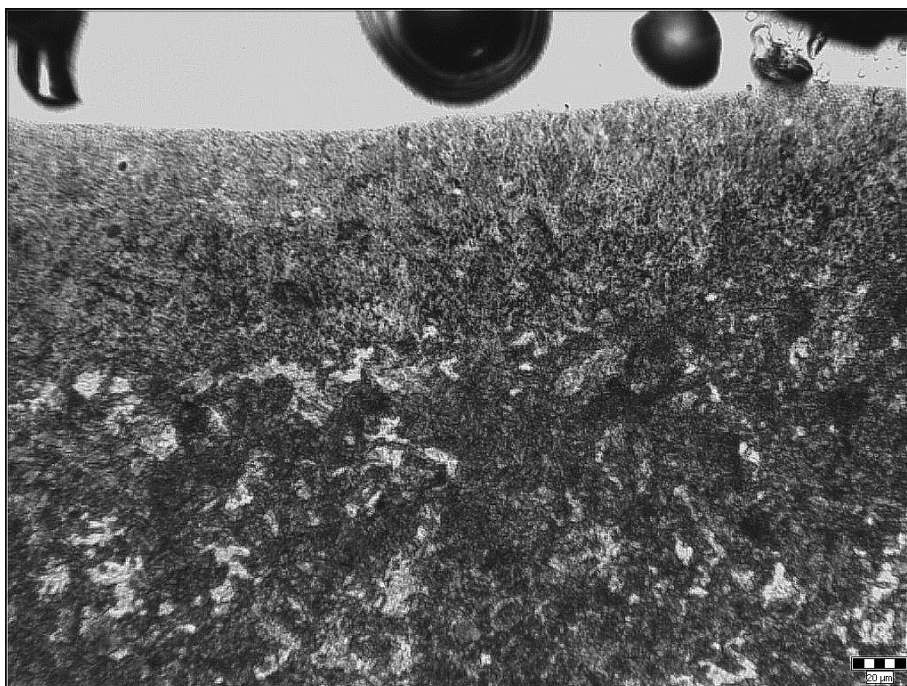
Obr. 42 Mikrostruktura vzorku 2A, zde lze pozorovat výrazné vyloučení globulitických karbidů chromu v teplem ovlivněné oblasti (zv. 500x).



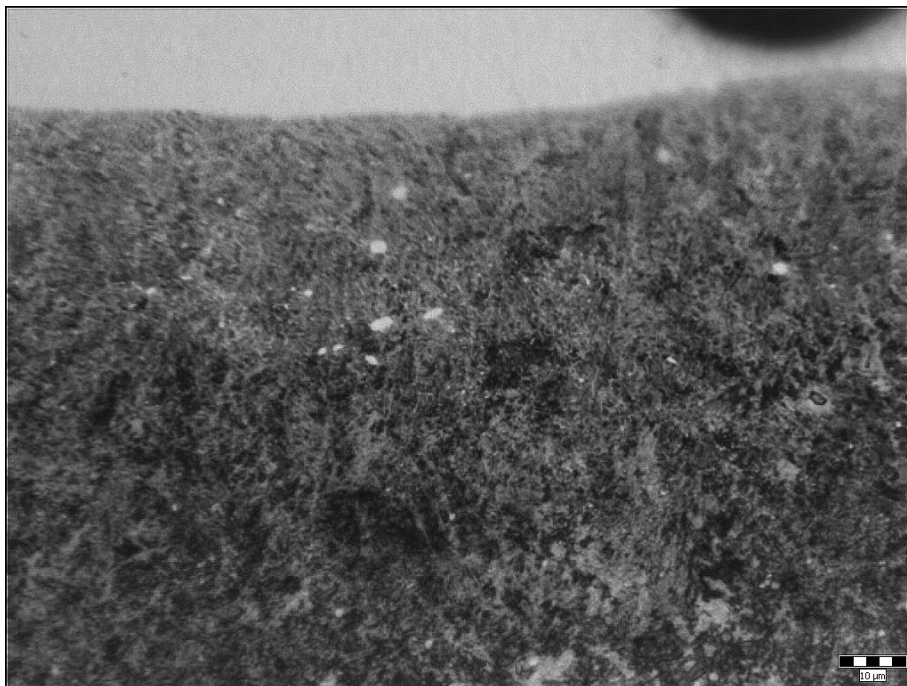
Obr. 43 Feriticko-bainitická mikrostruktura vzorku 2B s TOO sahající do hloubky 20- 30 μm (zv. 200x).



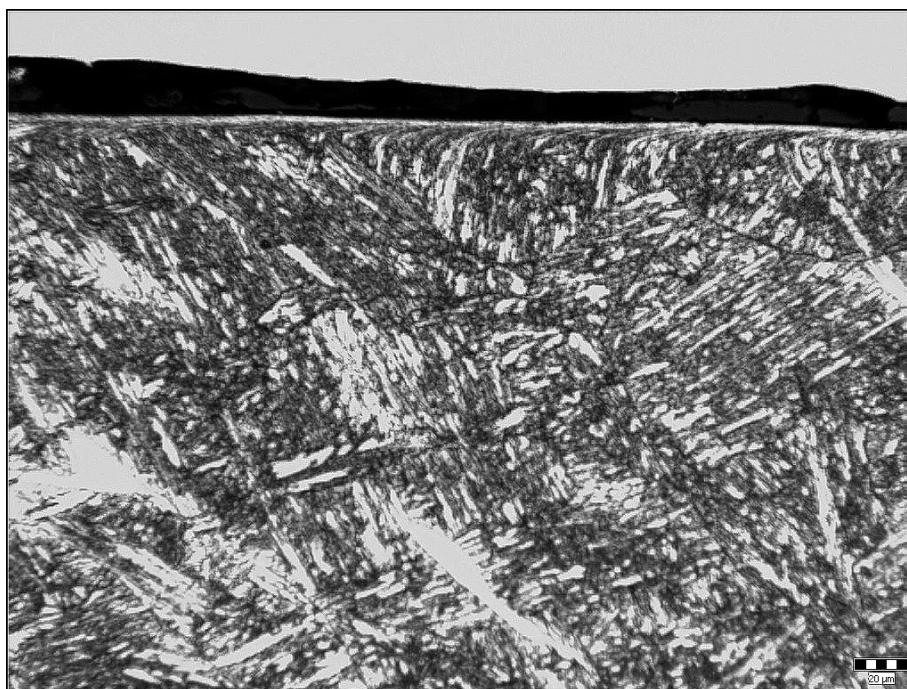
Obr. 44 Mikrostruktura vzorku 2B s výraznými karbidy chromu v TOO (zv. 500x).



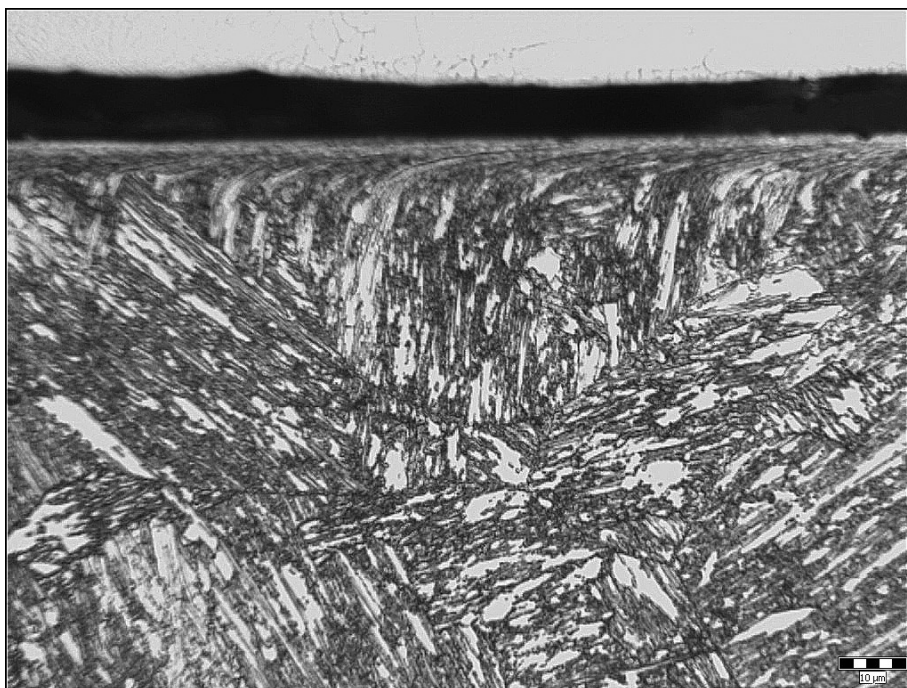
Obr. 45 Mikrostruktura vzorku 2C tvořená bainitem s výraznými feritickými deskami, které jsou v TOO hluboké 70 - 80 μm potlačeny. Viditelné jsou rovněž bubliny vzniklé na přivařované straně NiCr-Ni drátu (zv. 200x).



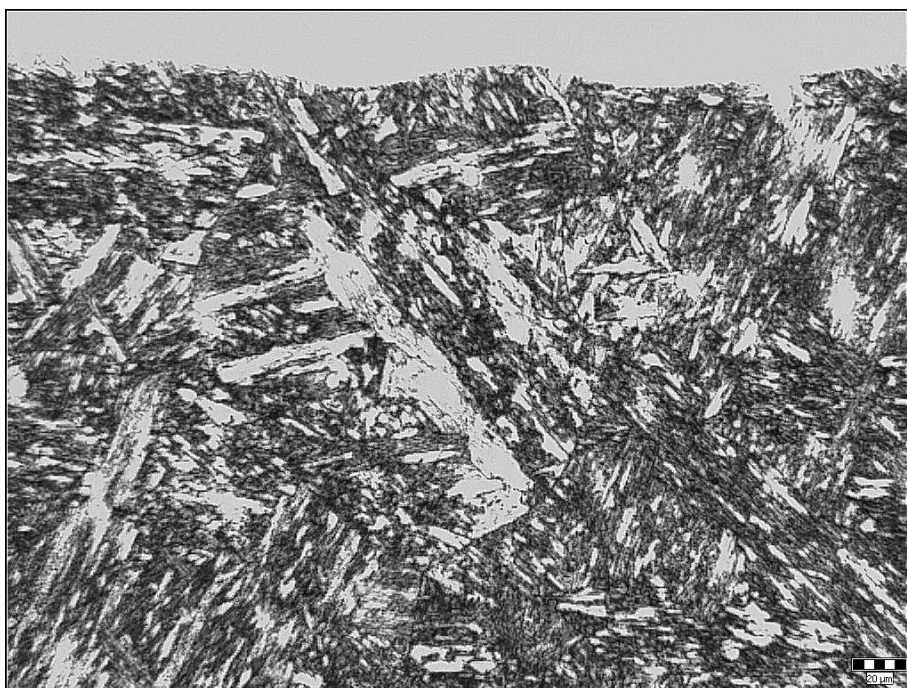
Obr. 46 Mikrostruktura vzorku 2C, došlo k vyloučení karbidů chromu v oblasti základního materiálu nejvíce ovlivněné teplem (zv. 500x).



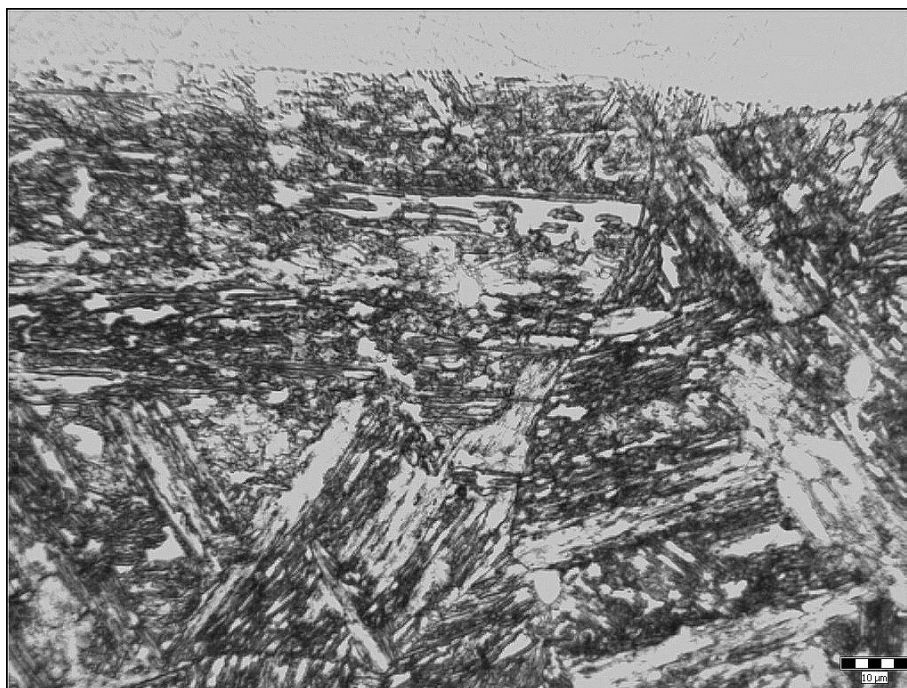
Obr. 47 Mikrostrukturu vzorku 3A tvoří převažující bainitické desky. TOO je minimální, nepřesahuje hloubku 10 μm . Vznikla zde navíc plynová dutina - svorník nedosedl na podkladový materiál (zv. 200x).



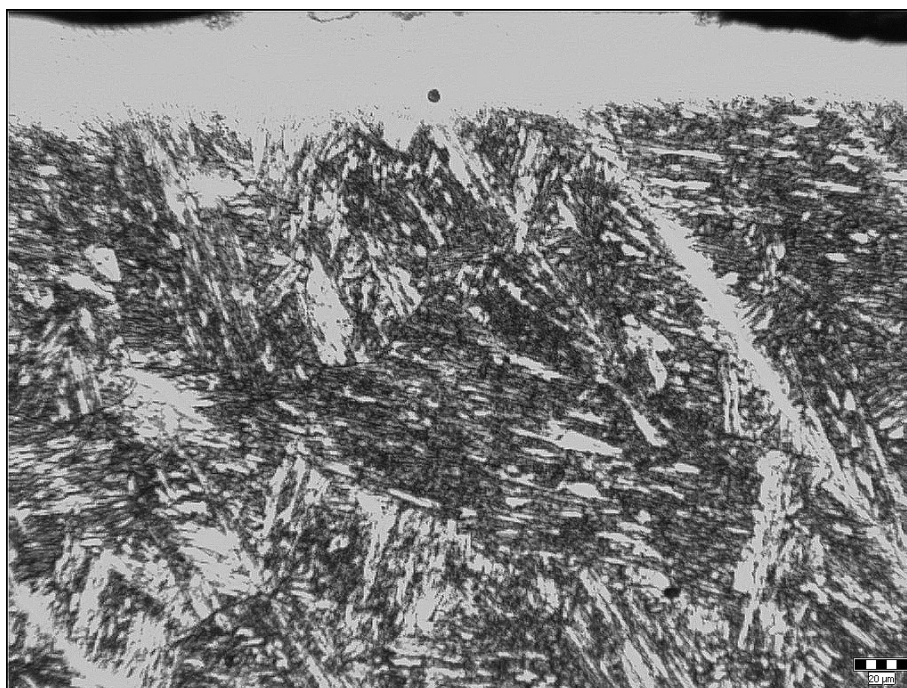
Obr. 48 Mikrostruktura vzorku 3A, patrné je pouze minimální tepelné ovlivnění narušením bainitických desek (zv. 500x).



Obr. 49 Mikrostruktura vzorku 3B je složením shodná se vzorkem 3A, tepelné ovlivnění je zde však menší, a to max. 5 μm (zv. 200x).



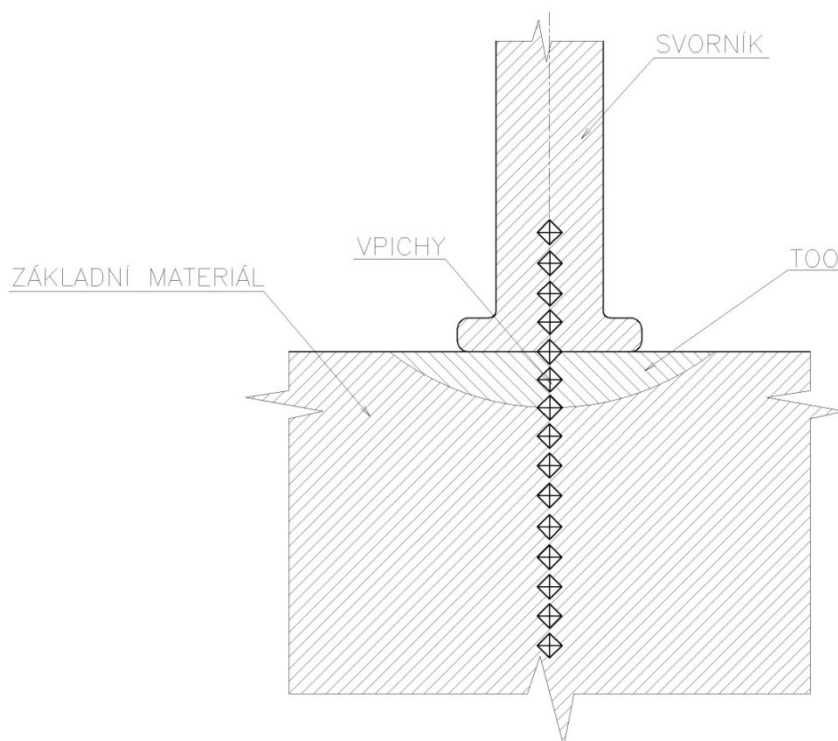
Obr. 50 Mikrostruktura vzorku 3B, díky většímu zvětšení je zde možno pozorovat velmi malou TOO (zv. 500x).



Obr. 51 Mikrostruktura vzorku 3C se složením neliší od předchozích, tepelné ovlivnění materiálu GX4CrNi13-4 je opět nepatrné, sahá max. do 5 μm (zv. 200x).

5.3.2 Zkoušky mikrotvrlosti

Po metalografických zkouškách následovala na stejně upravených vzorcích zkouška mikrotvrlosti na automatizovaném mikrotvrdoměru. Zkouška proběhla podle platné normy ČSN EN ISO 9015-2, která specifikuje zkoušky mikrotvrlosti na výbrusech svarových spojů a odpovídá zkouškám tvrdosti podle Vickerse. Ta spočívá v zatlačování diamantového jehlanu do kovového materiálu určitou silou. V tomto případě byla zkouška vykonána s běžným zkušebním zatížením 0,98 N (HV 0,1) a probíhala při pokojové teplotě (20 °C). Na každém vzorku bylo provedeno 15 vtisků v řadě ve směru osy svorníku až do základního materiálu, přičemž 3 - 5 vtisků (podle možností) bylo umístěno do svorníku a zbývající pak do podkladového materiálu včetně TOO, aby bylo možné identifikovat změny tvrdosti v důsledku svařovacího procesu. Jeden vtisk byl u každého vzorku veden přímo do místa styku svorníku s podkladovým materiálem. Tato oblast je patrná ze zkoušek mikrostruktury u všech vzorků se základním materiálem 45CrMoV7 jako hranice ztavení obou materiálů, u ostatních vzorků byl tento vpich veden také do přímého rozhraní mezi svařované materiály. Středů jednotlivých vtisků byly dle doporučení normy ČSN EN ISO 9015-2 pro kovy na bázi železa umisťovány minimálně 0,2 mm od sebe.



Obr. 52 Ukázka vedení vpichů vzorkem při zkoušce mikrotvrlosti

Z provedených zkoušek bylo možno po odečtení velikosti vpichů sestavit následující tabulky.

Tab. 7 Mikrotvrdost naměřená v jednotlivých oblastech vzorku 1A

Vz. 1A	Trn					Too	Základní materiál teplem neovlivněný								
HV 0,1	270	269	337	253	281	795	444	451	442	434	457	423	416	400	416

Tab. 8 Mikrotvrdost naměřená v jednotlivých oblastech vzorku 1B

Vz. 1B	Trn				Too	Základní materiál teplem neovlivněný									
HV 0,1	383	381	388	377	778	425	417	417	402	395	434	434	438	434	429

Tab. 9 Mikrotvrdost naměřená v jednotlivých oblastech vzorku 1C

Vz. 1C	Termočlánek				Too	Základní materiál teplem neovlivněný									
HV 0,1	183	193	201	184	783	387	441	394	412	394	408	396	396	400	412

Tab. 10 Mikrotvrdost naměřená v jednotlivých oblastech vzorku 2A

Vz. 2A	Trn				Too	Základní materiál teplem neovlivněný									
HV 0,1	235	284	317	305	540	277	280	272	261	269	271	304	288	300	270

Tab. 11 Mikrotvrdost naměřená v jednotlivých oblastech vzorku 2B

Vz. 2B	Trn				Too	Základní materiál teplem neovlivněný									
HV 0,1	346	380	371	326	708	320	312	298	319	313	301	308	305	304	306

Tab. 12 Mikrotvrdost naměřená v jednotlivých oblastech vzorku 2C

Vz. 2C	Termočlánek				Too	Základní materiál teplem neovlivněný									
HV 0,1	226	241	233	219	339	267	283	269	284	319	272	283	275	286	297

Tab. 13 Mikrotvrдость naměřená v jednotlivých oblastech vzorku 3A

Vz. 3A	Trn		Too	Základní materiál teplem neovlivněný											
HV 0,1	180	225	394	273	292	280	286	297	317	290	284	268	284	283	277

Tab. 14 Mikrotvrдость naměřená v jednotlivých oblastech vzorku 3B

Vz. 3B	Trn				Too	Základní materiál teplem neovlivněný									
HV 0,1	398	434	356	384	289	268	274	287	278	287	272	276	282	294	278

Tab. 15 Mikrotvrдость naměřená v jednotlivých oblastech vzorku 3C

Vz. 3C	Termočlánek				Too	Základní materiál teplem neovlivněný									
HV 0,1	154	164	157	279	278	285	256	287	286	293	282	270	286	270	276

Z tabulek bylo možno následně výpočtem určit průměrné tvrdosti v jednotlivých materiálech, vyplynuly z nich hodnoty tvrdosti v jednotlivých oblastech svarku a také bylo možné vyvodit příslušné závěry.

Termočláanky z materiálu NiCr-Ni vykazovaly nejměkčí strukturu. Jejich průměrná tvrdost byla 195,9 HV0,1. Nevýrazné bylo i jejich tepelné ovlivnění. Trny z oceli S235J2 měly průměrnou tvrdost vyšší, a to 268,7 HV0,1. To je způsobeno přítomností uhlíku v oceli a tvrdými strukturami v oceli - bainitem, martenzitem. Nejvyšší tvrdosti dosahovaly trny z vysocelegovaného materiálu GX4CrNi13-4. Zde se průměrná tvrdost ustálila na 377 HV0,1, tzn., došlo zde k největšímu vyloučení tvrdých struktur a karbidů.

Mezi základními materiály byla nejměkčí ocel GX4CrNi13-4, její průměrná tvrdost dosáhla hodnoty 281,7 HV0,1. Tato ocel s nízkým obsahem uhlíku nebyla téměř tepelně ovlivněna a její tvrdost tak zůstala nezměněna. Jen o málo vyšší tvrdost se projevila u oceli 7CrMoVTiB10-10. Tato ocel také neobsahovala velké množství uhlíku a ani tvrdý martenzit. Průměrná tvrdost této oceli činila 290,4 HV0,1. Naopak vyšší tvrdosti dosahovala nástrojová ocel 45CrMoV7, která byla podkladovým materiálem s největším podílem uhlíku. Došlo zde také k vyloučení velmi tvrdé martenzitické struktury, která vzniká prudkým ochlazením austenitu. Navíc byla tato ocel vneseným teplem při svařování ovlivněna nejvíce.

Specifickou charakteristiku tvrdosti měly také teplem ovlivněné oblasti základních materiálů. K největšímu vytvrzení došlo v oceli 45CrMoV7, kde průměrná tvrdost všech tří vzorků dosáhla hodnoty 785,3 HV_{0,1}. To je způsobeno velkou koncentrací tvrdých struktur v TOO této oceli. Velmi nápadné zvýšení tvrdosti nastalo vlivem svařování také v TOO oceli 7CrMoVTiB10-10. Zde průměrná tvrdost činí 529 HV_{0,1}. Nápadný je také rozdíl v tvrdosti TOO tohoto podkladového materiálu mezi typy přivařovaných svorníků. Zatímco v případě oceli 45CrMoV7 nebyla v tvrdosti základních materiálů žádná výrazná odlišnost při přivařování trnů nebo termočlánků patrná, u oceli 7CrMoVTiB10-10 došlo k nejvyššímu vytvrzení v případě přivařování trnu z materiálu X5CrNi18-10, naopak nejnižší zvýšení tvrdosti proběhlo při přivařování termočlánku. Po provedení vtisku do hranice mezi svorníkem a základním materiálem GX4CrNi13-4 nebylo žádné výrazné zvýšení tvrdosti zaznamenáno. Avšak jen pod svorníkem z oceli S235J2 vykazala tvrdost TOO vyšší hodnotu. Průměrná tvrdost zde nabývá hodnoty 320,7 HV_{0,1}.

Ze získaných informací lze sestavit graf závislosti maximální tvrdosti základních materiálů v TOO na jejich uhlíkovém ekvivalentu. Nejvyšší naměřené hodnoty tvrdosti byly vybrány pro každý ze tří podkladových materiálů a pro tyto ocele byl vypočten také uhlíkový ekvivalent C_E . Ten vyjadřuje základní charakteristiku vhodnosti ocelí ke svařování a byl vypočten pomocí vztahu (5) podle IIW (Mezinárodní svářečský institut):

$$C_E = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15} [\%] \quad (5)$$

Uhlíkový ekvivalent pro střední chemické složení oceli 45CrMoV7:

$$C_E = 0,445 + \frac{0,925}{6} + \frac{1,8 + 0,275 + 0,05}{5} + 0 = 1,024\%$$

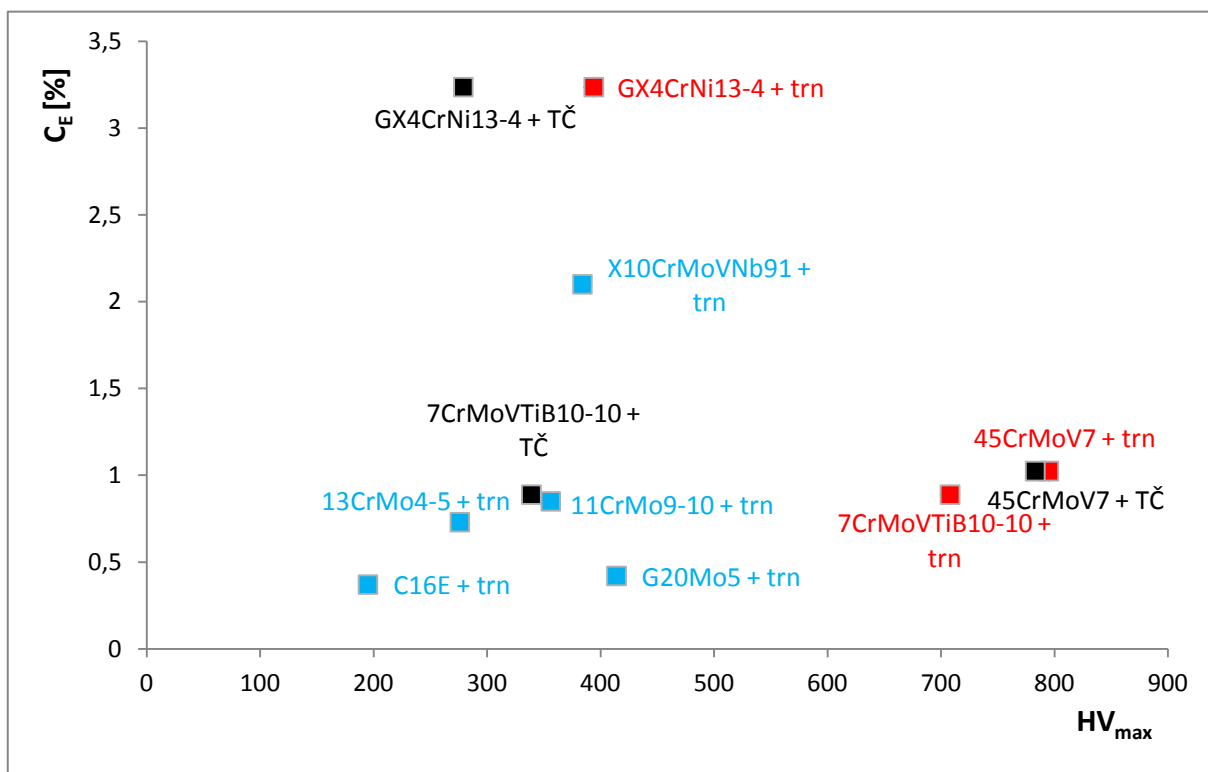
Uhlíkový ekvivalent pro střední chemické složení oceli 7CrMoVTiB10-10:

$$C_E = 0,075 + \frac{0,5}{6} + \frac{2,4 + 1 + 0,25}{5} + 0 = 0,888\%$$

Uhlíkový ekvivalent pro střední chemické složení oceli GX4CrNi13-4:

$$C_E = 0,06 + \frac{1}{6} + \frac{12,75 + 0,7 + 0,08}{5} + \frac{0,3 + 4,25}{15} = 3,236\%$$

Uhlíkové ekvivalenty pro použité oceli jsou vždy vyšší než hodnota 0,41%, tudíž jsou tyto materiály náchylné ke vzniku trhlin a praskání. To bývá zpravidla řešeno zajištěním pomalého chladnutí svařence, obvykle aplikací přehřevu, k tomu však při tomto experimentu nedošlo a při přivařování svorníků, zejména termočlánků, se to zpravidla neprovádí. Ze zjištěných hodnot tvrdosti je pak také patrné, že došlo k rychlému chladnutí a vytvoření tvrdých struktur. Závislost HV_{max} na C_E je pak znázorněna na obrázku 53. Graf je dále pro srovnání doplněn o hodnoty naměřené při dřívějších měřeních z lit. [39].



Obr. 53 Závislost maximální tvrdosti ocelí v TOO na jejich uhlíkovém ekvivalentu

5.3.3 Diskuse a zhodnocení dosažených výsledků z hlediska kvality zhotovených spojů

Nezbytnou částí této práce je zhodnocení výsledků a naměřených hodnot, jejich diskuse a porovnání s dostupnými literárními prameny. Zde se jedná především o údaje běžně dostupné u prodejců svorníků, kteří vycházejí z vlastních nebo obecných zkušeností s přivařováním svorníků technologií hrotového zážehu. Tyto údaje jsou však do určité míry zobecněny, protože není reálně možné uvádět tepelné ovlivnění, svařitelnost, přesnou hodnotu parametrů a další faktory pro přivařování různých svorníků na každý konkrétní typ základního materiálu - oceli nebo jiného kovu se specifickým složením a vlastnostmi.

Přivařování trnů z oceli S235J2 k nástrojové oceli o obsahu uhlíku nad 0,4 hm. % prezentují společnosti zabývající se touto technologií jako nevhodné. Při experimentu se prokázalo, že po přivaření těchto trnů k oceli 45CrMoV7 došlo k poměrně velkému tepelnému ovlivnění z hlediska technologie hrotového zážehu a nadměrnému vytvrzení spoje, což může způsobit křehkost a vznik trhlin. Taková vada by byla pro zatěžovaný spoj nepřijatelná. Zároveň také svorník nedosedl na přivařovaný podklad i přesto, že hrot byl dobře odtaven. Svařitelnost stejných svorníků s materiálem do obsahu uhlíku 0,35 hm. % uvádí literatura jako dobrou. Provedená zkouška mikrotvrdomosti však prokázala, že TOO vykazovala vyšší hodnotu tvrdosti i v případě oceli 7CrMoVTiB10-10. V případě tohoto vzorku nedošlo ani k dobrému odtavení startovacího hrotu, tudíž se pod svorníkem vytvořily vzduchové dutiny. Svorníky z materiálu S235J2 byly přivařovány i k nerezové oceli GX4CrNi13-4, vzniklé spoje jsou dostupnou literaturou označovány za uspokojivé. Experiment prokázal, že tomu tak skutečně je. Nedošlo ani k nadměrnému vytvrzení ve velmi malé TOO a také z hlediska makrostruktury lze tento spoj označit za vyhovující. Zkouška mikrostruktury však pomohla odhalit malé vzduchové mezery mezi trnem a podkladovým materiálem.

Za uspokojivou je též považována svařitelnost nerezových trnů X5CrNi18-10 k oceli 45CrMoV7. Provedený pokus to z hlediska metalografie potvrdil, při zkoušce mikrotvrdomosti byly ale na tomto vzorku naměřeny příliš vysoké hodnoty tvrdosti v teplem ovlivněné oblasti, což může při zvýšených nárocích na pevnost spoje působit značné problémy. Téměř stejně vysoká kritická hodnota tvrdosti byla zjištěna také v TOO při užití kombinace svorníku z oceli X5CrNi18-10 s podkladovým materiálem 7CrMoVTiB10-10. Nejen že zde může dojít ke vzniku nebezpečných trhlin v TOO, ale taktéž je takový spoj snadno napadnutelný korozí. Prodejci specializovaní na obchod se svorníky vycházející z vlastních měření však uvádějí svařitelnost této kombinace materiálů jako dobrou. Zjevné vady nebyly na tomto vzorku zkouškami metalografickými odhaleny. Za dobré jsou rovněž označovány spoje zmíněných nerezových trnů s nerezovým podkladovým materiálem. Zde byla za podkladový materiál zvolena ocel GX4CrNi13-4. Ve zhotoveném spoji nebylo naměřeno žádné zvýšení tvrdosti a zkouška mikrostruktury také neodhalila žádné defekty. Pouze ze snímků makrostruktury je zjevné, že nedošlo k žádoucímu odtavení startovacího hrotu přivařovaného trnu, což způsobilo jeho nevhodné dosednutí na podkladový materiál. Zůstaly zde tak plynové dutiny.

Posledními zkoušenými svorníky byly v rámci tohoto experimentu termočláňkové dráty. V tomto případě je hodnocení vzniklých spojů dostupné pouze z výsledků provedeného experimentu, neboť žádná literatura podrobně nespecifikuje svařitelnost NiCr-Ni svorníků s různými podkladovými materiály. Po přivaření těchto drátů k oceli 45CrMoV7 došlo k výraznému nárůstu tvrdosti v TOO základního materiálu jako v předchozích případech, z čehož lze usuzovat, že tato nástrojová ocel s vyšším obsahem uhlíku není jako základní materiál k přivařování svorníků hrotovým zážehem příliš vhodná. Takto nebezpečně zvýšená tvrdost a křehkost by však neměla být na závadu v případě přivařování termočláňkových drátů. Ty se po naměření teploty zkoumaného povrchu (určitého souboru hodnot) většinou odlamují a nejsou ani nijak zvláště dynamicky namáhány. Po přivaření NiCr-Ni drátu k tomuto základnímu materiálu došlo i ke vzniku menší vzduchové dutiny patrné ze snímku makrostruktury. Na fotografii mikrostruktury nejsou patrné žádné defekty. Svarový spoj termočláňku a materiálu 7CrMoVTiB10-10 vykázal pouze minimální zvýšení tvrdosti v TOO. Došlo zde současně ke vzniku mikroskopických bublin na natavené části NiCr-Ni termočláňku, což by ovšem při běžném využití v energetice, např. při měření teplot na povrchu tlakových nádob nemělo činit žádné závažné potíže. Kvalitu výsledného spoje tak lze označit za uspokojivou. Nejlépe dopadl spoj vzniklý svařením termočláňku a základního materiálu GX4CrNi13-4. Zde nebyly při provedených zkouškách shledány žádné problémy a taktéž velikost TOO je téměř nulová, avšak k mikroskopickým změnám struktury došlo i zde. Kvalitu výsledného spoje je tedy možné považovat za dobrou.

6 Závěr

Technologie přivařování svorníků je aktuálním tématem kvůli stále se rozšiřujícímu technickému pokroku a nutnosti splnit požadavky poptávky - urychlit a zlevnit vlastní výrobu a tím také snižovat ceny výrobků, což si současná ekonomická situace žádá. Rozbor konkrétních variant navařování svorníků umožňující plně realizovat zmíněné náročné předpoklady je uveden v první polovině této bakalářské práce včetně detailního popisu varianty hrotového zážehu. Z podstaty této metody plyne, že vysoké produktivity je dosaženo především díky možnosti svařovat ručně i zcela automaticky s použitím speciálně navrženého vybavení, a to velmi vysokými proudy bez přídavného materiálu.

Neméně důležité je vyrábět kvalitní produkty s dlouhou životností splňující bezpečnostní kritéria. Ta je možné ověřit hned po zhotovení výrobku - v tomto případě po přivaření svorníku k podkladovému materiálu díky známým technologiím zkoušení svarových spojů. Nejpoužívanější metody jsou rozpracovány na konci teoretické části práce.

Destruktivní zkoušky, aplikované v praktické části této bakalářské práce, se v praxi provádějí na zkušebních vzorcích pro ověření svařitelnosti různých typů materiálů navzájem. Význam mají především při zavádění velkosériové produkce a jejich statistickou sumarizací je možné sestavit výpověď o jakosti této plánované výroby s následným minimem potřebných kontrol. Zde byly rovněž názorně ozkoušeny kombinace několika odlišných typů základních materiálů a svorníků při uplatnění technologie hrotového zážehu.

K přivařování trnů a termočlánků k podkladovým materiálům bylo užito ručních zařízení, která jsou určena pro malé provozy. Během přivařování svorníků se po změření svařovacích parametrů potvrdilo, že svařovací časy jsou velmi krátké a proudy se pohybují v řádech tisíců ampérů. Potvrzeným pozitivem této metody bylo také zjištění vzniku minima nežádoucích emisí v porovnání s jinými metodami svařování (např. pro svorníky dříve používanou technologii WIG).

Z výsledků provedených zkoušek makrostruktury lze na první pohled vyzorovat prakticky zanedbatelnou velikost tepelného ovlivnění podkladového materiálu, a to v případě všech vzorků, což předurčuje technologii přivařování svorníků hrotovým zážehem ke speciálním aplikacím v energetice, díky robotizaci v elektrotechnice a dalších stále se rozvíjejících průmyslových odvětvích. TOO je totiž jasněji viditelná teprve až na

zhotovených snímcích mikrostruktury. Popsána byla její velikost i základní materiály používané zejména v energetice složené převážně z tvrdých struktur. Tím bylo zjištěno, že po přivařování termočlánků, které slouží jako kontrolní čidla pro kontrolu a regulaci teplotního režimu svařování, tepelného zpracování atd., dochází v relativně malých oblastech k podstatnému tepelnému ovlivnění. Po odstranění těchto čidel je tedy nutné daná místa upravit v předepsané hloubce a toto tepelné ovlivnění odstranit, jinak může dojít k inicializaci poškození, např. vzniku mikrotrhlin, napadení korozí apod. Možnost vzniku těchto defektů se týká i TOO po přivaření trnů. Z metalografických výbrusů je taktéž patrný vznik vzduchových dutin různých velikostí a tvarů, v praktické části byly rovněž popsány možné příčiny vzniku těchto vad.

Potvrzením převážně martenzitické a bainitické skladby ve většině základních materiálů byla i provedená zkouška mikrotvrdosti. Ta potvrdila u zkoušených ocelí vytvrzení v tepelně ovlivněné oblasti v důsledku svařování. V experimentální části práce jsou uvedeny konkrétní naměřené hodnoty a jejich zpracování. Z nich plyne, že vyhovující tvrdost spoje mají pouze vzorky s materiálem GX4CrNi13-4, kde hodnota výrazně nepřekročila hranici 350 HV, která se u běžných konstrukcí považuje ještě za přípustnou. Naopak maximální tvrdost byla naměřena na oceli 45CrMoV7. Hodnota 795 HV zdaleka překračuje zmíněnou hranici. Některé typy konstrukcí vyžadují dokonce tvrdost maximálně 250 HV. Zde by bylo doporučením zavést opatření pro snížení rychlosti ochlazování spoje a zabránit tak vzniku tvrdých struktur.

Každá zkouška experimentálně provedená v souladu s příslušnými normami na konkrétních materiálech byla následně porovnána s dostupnou literaturou a zkušenostmi firem specializovaných na technologii přivařování svorníků hrotovým zážehem a z dosažených výsledků tak lze konstatovat, že ve většině případů se zjištěné údaje shodují s dodávanými informacemi o svařitelnosti a kvalitě výsledných spojů. Neshody mohly vzniknout zejména kvůli nevhodně nastaveným svařovacím parametrům a specifickým charakteristikám konkrétních použitých ocelí, což není v dostupné literatuře zohledněno. Hodnocení přípustnosti vzniklých defektů tak závisí především na uvažovaném použití a zatížení výrobku zhotoveného touto technologií. Při využití každé technologie je však nutné vždy zohlednit účel, pro jaký byla vyvinuta.



Poděkování

Děkuji Ing. V. Ochodkovi z katedry mechanické technologie VŠB-TU Ostrava za cenné rady při řešení práce, paní J. Čapkové a Ing. X. Ševčíkové z laboratoří katedry za metodickou pomoc během zkoušek metalografických a zkoušek mikrotvrdosti.

Seznam použitých pramenů

- [1] VÁLOVÁ, Marie a Ladislav KOLARŽÍK. Perspektivní metody spojování materiálů - přivařování svorníků. In: *Sborník odborného semináře: Nové metody a postupy v oblasti přístrojové techniky, automatického řízení a informatiky*. Třeboň, 2009. ISBN 978-80-01-04353-0. [online]. [cit. 2011-12-27]. Dostupné z: <http://www.fsid.cvut.cz/cz/u12110/vyzkum/trebon09/cd/AR/Va.pdf>.
- [2] KŘÍŽ, Václav. *Kurs technických znalostí: Přehled svařování*. 7. vydání. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1986. ISBN 04-202-86.
- [3] NIPPON STUD WELDING Co., Ltd.: History of stud welding. [online]. [cit. 2011-12-27]. Dostupné z: http://www.nsw-j.com/e_stud_history.html
- [4] HLAVATÝ, Ivo. Přivařování svorníků - 78. [online]. [cit. 2011-12-28]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/2-05-78.pdf>
- [5] KOLARŽÍK, Ladislav a Marie VÁLOVÁ. Obloukové přivařování svorníků. Praha, 2010. [online]. [cit. 2011-12-28]. Dostupné z: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TMSV/privarovani_svorniku_TMSV.pdf
- [6] Drawn Arc. RIVET & WELDSTUD MANUFACTURING CC. [online]. [cit. 2011-12-28]. Dostupné z: http://studwelding.co.za/index.php?option=com_content&view=article&id=52&Itemid=58
- [7] WEOST PLUS - SOYER Svařovací technika: Popis technologií. [online]. [cit. 2011-12-29]. Dostupné z: <http://www.soyer.cz/popis.html>
- [8] PROWELD. *Technologie zdvihového zážehu (elektrického oblouku)* [online]. [cit. 2011-12-29]. Dostupné z: http://www.proweld.cz/ole/b6technologie_zdvih._z%E1%9Eehu%2C_elektr._oblouku.pdf
- [9] Svorníky pro zdvihové zapalování. ŠIMÁK PLZEŇ. [online]. [cit. 2011-12-29]. Dostupné z: <http://www.simak-hbs.cz/hbs42.htm>
- [10] KOUKAL, Jaroslav a Tomáš ZMYDLENÝ. *Svařování I*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009. ISBN 978-80-248-0870-3.

- [11] Arc Stud Weld Systems Accessiores and Equipment PDF: For Companies that are not Stud Welding but should be. [online]. 1994[cit. 2011-12-31]. Dostupné z:
[http://www.studweld.com/pdffiles/Arc Stud Weld Systems Accessories and Equipment PDF.pdf](http://www.studweld.com/pdffiles/Arc%20Stud%20Weld%20Systems%20Accessories%20and%20Equipment%20PDF.pdf)
- [12] Capacitor Discharge Stud Welding Systems, Accessiores and Equipment. [online]. [cit. 2011-12-31]. Dostupné z:
[http://www.studweld.com/pdffiles/Capacitor%20Discharge%20Stud%20Welding%20System s%20PDF.pdf](http://www.studweld.com/pdffiles/Capacitor%20Discharge%20Stud%20Welding%20System%20PDF.pdf)
- [13] TAUŠ, Jaroslav. *Příprava svářečů k úředním zkouškám*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1982. ISBN 04-240-82.
- [14] Bolzenschweissen in Übereinstimmung mit DIN EN ISO 14555. In: [online]. [cit. 2012-01-11]. Dostupné z:
[http://www.bolzenschweisstechnik.de/fileadmin/user_upload/download/technische_informati onen/bolzenschweissen_din_en_iso_14555_d.pdf](http://www.bolzenschweisstechnik.de/fileadmin/user_upload/download/technische_informationen/bolzenschweissen_din_en_iso_14555_d.pdf)
- [15] KÖCO Germany Welding process Drawn Arc Stud Welding with inert gas. KÖSTER & CO. GMBH. [online]. [cit. 2012-01-11]. Dostupné z:
<http://www.bolzenschweisstechnik.de/en/anwendungen/stud-welding-processes/drawn-arc-stud-welding-with-inert-gas/>
- [16] Technologie zdvihového zážehu (elektrického oblouku). [online]. [cit. 2012-01-11]. Dostupné z:
http://www.proweld.cz/ole/b6technologie_zdvih._z%E1%9Eehu%2C_elektr._oblouku.pdf
- [17] Stud welding with tip ignition. KÖSTER & CO. GMBH. [online]. [cit. 2012-01-11]. Dostupné z: <http://www.bolzenschweisstechnik.de/en/anwendungen/stud-welding-processes/bolzenschweissen-mit-spitzenzuendung/>
- [18] Přivařování hrotovým zážehem (kondenzátorovým výbojem). [online]. [cit. 2012-01-11]. Dostupné z:
http://www.proweld.cz/ole/technologie_hrot._z%E1%9Eehu%2C_kond._v%FDboje.pdf
- [19] WEOST PLUS - SOYER Svařovací technika: Svařovací zdroje. WEOST PLUS S R.O. [online]. [cit. 2012-01-11]. Dostupné z: http://soyer.cz/sv_hrotove_navarovani.html



- [20] CNC Stud Welding. RIVET & WELDSTUD MANUFACTURING CC. [online]. [cit. 2012-01-11]. Dostupné z: http://studwelding.co.za/index.php?option=com_content&view=article&id=57&Itemid=76
- [21] Svorníky pro přivařování - obloukové: Katalog produktů. PROWELD. *Proweld* [online]. 2010 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: http://www.proweld.cz/ole/katalog_svorn%EDku_din32500_2010_komplet.pdf
- [22] Svorníky pro zdvihové zapalování. ŠIMÁK PLZEŇ. *Šimák Plzeň HBS* [online]. 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.simak-hbs.cz/hbs42.htm>
- [23] KÖCO - kolíky s hlavou, spřahovací trny, metoda svorníkového svařování: Tramvajové mosty v Moskvě, Rusko. KÖSTER & CO. *KÖCO - Köster & Co* [online]. 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.koster.cz/cz/pouziti/reference/ocelove-stavby-pozemni-stavby-stavba-mostu/tramvajove-mosty/>
- [24] Katalog: Navařovací technika firmy Nelson. ARCUS ENGINEERING S.R.O. *Arcus Engineering s.r.o.: Nýtovací technika a upevňovací prvky* [online]. 2010 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: http://www.avdel.eu/pdf/navarovaci_technika/katalog.pdf
- [25] Svorníky pro hrotové zapalování. ŠIMÁK PLZEŇ. *Šimák Plzeň HBS* [online]. 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.simak-hbs.cz/hbs41.htm>
- [26] Svorníky pro přivařování - kondenzátorové: Katalog produktů. PROWELD. *Proweld* [online]. 2010 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: http://www.proweld.cz/ole/katalog-din32501_komplet_2010.pdf
- [27] Speciální aplikace metody. PROWELD. *Proweld* [online]. 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.proweld.cz/ole/aplikace.pdf>
- [28] JŮZA, Aleš. Vliv svařování na lomovou houževnatost. *Konstrukce: Odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství* [online]. 2008, č. 1, 11.1.2009 [cit. 2012-05-05]. ISSN 1803-8433. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/vliv-svarovani-na-lomovou-houzevnatost/>

- [29] GX4CrNi13-4 (1.4317): European Steel and Alloy Grades. BRESLAVSKY. NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY KHPI. *Propositions of the Department of Physical Engineering* [online]. 2011 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: http://www.splav.kharkov.com/steelgrade/mat_start_eu.php?name_id=384
- [30] 45CrMoV7 steel plate, 45CrMoV7 sheet, 45CrMoV7 coil: Tool steel. LONGHAI STEEL. *China steel suppliers* [online]. 2011 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://www.steelss.com/Tool-steel/45crmov7.html>
- [31] ADAMIEC, Janusz. *Hot cracking of welded joints of the 7CrMoVTiB 10-10 (T/P24) steel*. Katowice, 2001. DOI: 10.1088/1757-899X/22/1/012001. Dostupné z: http://iopscience.iop.org/1757-899X/22/1/012001/pdf/1757-899X_22_1_012001.pdf. Diplomová práce. Silesian University of Technology, Department of Materials Science.
- [32] S235J2/1.0117: European Steel and Alloy Grades. BRESLAVSKY. NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY KHPI. *Propositions of the Department of Physical Engineering* [online]. [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=6
- [33] X5CrNi18-10. BOHDAN BOLZANO S.R.O. *Bohdan Bolzano* [online]. 2004 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/zaruvzdorne_oceli/korozivzdorne/Materialovelisty/austeniticke/X5CrNi18-10/
- [34] OMEGA - Termočlánky: Úvod do termočlánků. JAKAR ELECTRONICS, s r.o. *Omega Engineering Česká republika* [online]. 2011 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://www.omegaeng.cz/prodinfo/thermocouples.html>
- [35] Svarservis Group: Thermocouples unit BT 2. SVARSERVIS GROUP. *Svarservis Group* [online]. 2010 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://www.svarservis.cz/eng/produkty-prislusenstvi.php>
- [36] Návod na obsluhu zdroje LBS 75 a PKM 101/ PKM - 1B. PROWELD. *Proweld.cz* [online]. 2009 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: http://www.privarovanisroubu.cz/ole/lbs_75_a_pkm-101_pkm-1b.pdf
- [37] LBS 75. PROWELD. *Proweld.cz* [online]. 2010 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: http://www.proweld.cz/ole/aktual_lbs_75.pdf



[38] PKM - 1B, PKM - 101. PROWELD. *Proweld.cz* [online]. 2010 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: http://www.proweld.cz/ole/aktual_pkm_1b%2C_pkm_101.pdf

[39] OCHODEK, Vladislav. *Vliv technologie přivařování svorníků na velikost TOO*. VŠB-TU Ostrava, HS355348, 1998, 15.s.